INTERNATIONAL SCIENCE GROUP

MONOGRAPH

SCIENTIFIC FOUNDATIONS OF SOLVING ENGINEERING TASKS AND PROBLEMS

DOI 10.46299/ISG.2021.MONO.TECH.II
ISBN 978-1-63848-664-0
BOSTON (USA) – 2021
ISG-KONF.COM

ISBN - 978-1-63848-664-0
DOI- 10.46299/ISG.2021.MONO.TECH.II

Scientific foundations of solving engineering tasks and problems

Collective monograph

Boston 2021

Library of Congress Cataloging-in-Publication Data
ISBN - 978-1-63848-664-0
DOI- 10.46299/ISG.2021.MONO.TECH.II

Authors - Demchyna B., Vozniuk L., Surmai M., Hladyshev D., Babyak V., Kovalchuk V., Onyshchenko A., Fedorenko O., Pentsak A., Petrenko O., Єсакова С.В., Вовк Л., Гладишев Д.Г., Гладишев Г.М., Бродський М.О., Вознюк Л.І., Зятюк Ю., Борисюк О., Фурсович М., Попович П.,Коверніченко Л.М., Смірнова О.В., Borutska Y., Pankaj S., Getman I., Holovach T., Muzyka S., Starokadomsky D., Reshetnyk M., Sigareva N., Terebilenko A., Shulga S., Trus I., Halysh V., Nikolaichuk A., Gomelya M., Krysenko T., Рахымбеков А.Ж., Kyivska K., Tsiutsiura S., Tsiutsiura M., Terentyev O., Zaykov V., Mescheryakov V., Zhuravlov Y., Gnatovska A., Бойко Н., Кононихін О., Філь Н., Чорний Б., Мірошник В., Кривобока Г., Самсонов В., Сільвестров А., Спінул Л., Чикина Н.А., Антонова И.В., Ярош С.П., Савельєв А.М., Запара Д.М., Новіченко С.В., Третяк В.Ф., Denysiuk S., Derevianko D., Romanchenko O., Dobrolyubova M., Kozyr O., Statsenko O., Shevchenko K., Бурлак Г., Вілінська Л., Antiushko D., Shapovalova N., Fursik O., Kuzmyk Y., Svyatnenko R., Marynin A., Strashynskyi I., Pasichniy V., Kyshenko V., Romashchuk O., Pankov D., Kyshenko V., Ladanyuk A., Kryshchenko D., Biletskyi M., Peshuk L., Kondratiuk N., Polyvanov Y., Kozhemyaka O., Verkhivker Y., Myroshnichenko E., Pavlenko S., Dotsenko N.,Гачак Ю.Р., Гутий Б.В., Дзюба Н.А., Дубина А.А., Дубина А.А., Кондратюк Н.В., Степанова Т.М., Польщикова Н., Василенко А., Сташенко М., Танивердиев А., Уманенко И., Savenko V., Zuravskiy O., Vysotska L., Pobeda S., Kleshchenko O., Лемешев М., Черепаха Д., Черепаха А., Стаднийчук М., Королевская С., Savenko V., Nesterenko I., Shatrova I., Demydova O., Klyueyva V., Саньков П.М., Журбенко В.М., Сєлюков О.В., Лєнков Є.С., Зінчик А.Г., Пашков О.С., Бондаренко Т.В., Hlushkova D., Kalinin V., Stepanyuk A., Hnatyuk A., Serzhenko I., Roik T., Gavrysh O., Gavrysh J., Senkus V., Kolomiiets A., Behen P., Kotovskii O., Nechiporenko V., Salo V., Litovchenko P., Яглінський В., Гутиря С., Matiko F., Matiko H., Krykh H., Крупка Я., Wyszniewski D., Кононов С., Білик О., Олійник В., Dolzhenko N., Артеменко О., Тимошенко А., Сагановская Л., Данилко О., Зубенко Д.Ю., Петренко А.Н., Халиль В.В.

Published by Primedia eLaunch
https://primediaelaunch.com/
Text Copyright © 2021 by the International Science Group(isg-konf.com) and authors.
Illustrations © 2021 by the International Science Group and authors.

Cover design: International Science Group(isg-konf.com). ©

Cover art: International Science Group(isg-konf.com). ©

All rights reserved. Printed in the United States of America. No part of this publication may be reproduced, distributed, or transmitted, in any form or by any means, or stored in a data base or retrieval system, without the prior written permission of the publisher. The content and reliability of the articles are the responsibility of the authors. When using and borrowing materials reference to the publication is required.

Collection of scientific articles published is the scientific and practical publication, which contains scientific articles of students, graduate students, Candidates and Doctors of Sciences, research workers and practitioners from Europe and Ukraine. The articles contain the study, reflecting the processes and changes in the structure of modern science.

The recommended citation for this publication is:
Scientific foundations of solving engineering tasks and problems: collective monograph / Demchyna B., Vozniuk L., Surmai M., Hladyshev D., Babyak V.– etc. – International Science Group. – Boston : Primedia eLaunch, 2021. 758 p. Available at : DOI- 10.46299/ISG.2021.MONO.TECH.II

TABLE OF CONTENTS

1.	ARCHITECTURE AND CONSTRUCTION	
1.1	Demchyna B.[1], Vozniuk L.[2], Surmai M.[1], Hladyshev D.[2], Babyak V.[2] SURVEY OF EMERGENCY SITUATIONS OF BUILDINGS AND STRUCTURES [1] Department of building construction and bridges, Lviv Polytechnic National University [2] Department of architectural design and engineering, Lviv Polytechnic National University	18
1.2	Kovalchuk V.[1], Onyshchenko A.[1], Fedorenko O.[2], Pentsak A.[3], Petrenko O.[3] METHODS OF INCREASING CARRYING CAPACITY OF TRANSPORT CONSTRUCTIONS MADE OF METAL CORRUGATED STRUCTURES UNDER OPERATING CONDITIONS [1] Department of Bridges and Tunnels, National transport university, Kyiv, Ukraine [2] State Agency of Motor Roads of Ukraine (Ukravtodor), Kyiv, Ukraine [3] Department of Construction Industry, Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine	25
1.2.1	CRITERIA FOR ASSESSING THE RELIABLE OPERATION OF TRANSPORT CONSTRUCTIONS MADE OF CORRUGATED METAL STRUCTURES	25
1.2.2	REASONS FOR REDUCED LOAD-BEARING CAPACITY AND DURABILITY OF CONSTRUCTIONS MADE OF METAL CORRUGATED STRUCTURES	25
1.2.3	CONSTRUCTIVE OPTIONS OF BEARING CAPACITY AND DURABILITY INCREASE OF TRANSPORT CONSTRUCTIONS MADE OF METAL CORRUGATED STRUCTURES ARE OFFERED	28
1.2.4	REINFORCEMENT OF THE TRANSPORT CONSTRUCTION WITH MCSS BY DOUBLE CORRUGATION	30
1.2.5	METHOD FOR ESTIMATING THE STRESS-STRAIN STATE OF A TRANSPORT CONSTRUCTION WITH MCSS REINFORCED WITH ROUND STIFFENERS	32
1.2.6	ANALYTICAL METHOD FOR ESTIMATING THE STRESS-STRAIN STATE OF A TRANSPORT CONSTRUCTION WITH MCSS REINFORCED WITH METAL STIFFENING PLATES	36

1.2.6.1	MATHEMATICAL FORMULATION OF THE RESEARCH PROBLEM	36
1.2.7	ANALYTICAL METHOD FOR ESTIMATING THE STRESS-STRAIN STATE OF A TRANSPORT CONSTRUCTION WITH MCSS UNDER CONDITION OF DOUBLE CORRUGATION	37
1.2.7.1	MATHEMATICAL FORMULATION OF THE RESEARCH	37
1.2.8	COMPARATIVE ASSESSMENT OF THE STRESS-STRAIN STATE OF CONSTRUCTIONS WITH MCSS REINFORCED WITH THE HELP OF PROPOSED DESIGN OPTIONS	39
1.2.8.1	INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF CORRUGATED SHEET THICKNESS ON INCREASING THE BEARING CAPACITY OF A TRANSPORT CONSTRUCTION MADE OF CORRUGATED METAL STRUCTURES	41
1.2.8.2	STRESS-STRAIN STATE OF A CORRUGATED METAL STRUCTURE REINFORCED WITH STIFFENERS	43
1.2.8.3	ESTIMATION OF THE BEARING CAPACITY OF A METAL CORRUGATED STRUCTURE AT DOUBLE CORRUGATION	44
1.2.8.4	CALCULATION RESULTS COMPARISON OF THE STRESS-STRAIN STATE OF TRANSPORT CONSTRUCTIONS REINFORCED WITH ADDITIONAL ELEMENTS	45
1.2.9	TECHNICAL AND ECONOMICAL EVALUATION OF DESIGN SOLUTIONS EFFICIENCY TO INCREASE THE BEARING CAPACITY OF METAL CORRUGATED STRUCTURES	46
1.3	Єсакова С.В.[1] РОЗРАХУНОК ПАЛЬ НА ДІЮ ПОПЕРЕЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ [1] Department of Geotechnics, Underground and Hydrotechnical Structures, Kharkiv, Ukraine Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture	49
1.3.1	ВИГИН ПАЛІ В ПРУЖНЬОМУ СЕРЕДОВИЩІ	49
1.3.1.1	ЗАСТОСУВАННЯ МОДЕЛІ Б.Н. ЖЕМОЧКІНА ДО РОЗРАХУНКУ ПОПЕРЕЧНО НАВАНТАЖЕНОЇ ПАЛІ ПРИ НЕЛІНІЙНОМУ РОЗПОДІЛІ ЖОРСТКОСТІ ГРУНТУ ПО ГЛИБИНІ ЗАНУРЕННЯ	49
1.3.1.1.1	КОМПЛЕКСНА РОЗРАХУНКОВА МОДЕЛЬ №1	54
1.3.1.1.2	КОМПЛЕКСНА РОЗРАХУНКОВА МОДЕЛЬ № 2	59

1.3.1.1.3	КОМПЛЕКСНА РОЗРАХУНКОВА МОДЕЛЬ № 3	62
1.3.1.1.4	КОМПЛЕКСНА РОЗРАХУНКОВА МОДЕЛЬ № 4 (ТРАПЕЦІЄПОДІБНИЙ РОЗПОДІЛ КОЕФІЦІЄНТА ПОСТЕЛІ)	65
1.3.1.2	РІШЕННЯ ЗВОРОТНЬОЇ ЗАДАЧІ ВИЗНАЧЕННЯ ЖОРСТКОСТІ ОСНОВИ І НАПРУЖЕНОГО СТАНУ ГОРИЗОНТАЛЬНО НАВАНТАЖЕНИХ ПАЛЬ ПО ЗАДАНИМ ДЕФОРМАЦІЯМ І ЗОВНІШНЬОМУ НАВАНТАЖЕННІ	70
1.3.1.3	УРАХУВАННЯ НЕОДНОРІДНОЇ (БАГАТОШАРОВОЇ) ГРУНТОВОЇ ОСНОВИ ПРИ РОЗРАХУНКУ ГОРИЗОНТАЛЬНО НАВАНТАЖЕНИХ ПАЛЬ	75
1.3.2	ОБЛІК ПОПЕРЕЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ, РОЗПОДІЛЕНОГО ПО ДОВЖИНІ ПАЛІ	78
1.3.2.1	ПРУЖНА СТАДІЯ РОБОТИ ПАЛІ І ОДНОРІДНОГО ҐРУНТОВОГО МАСИВУ	80
1.3.2.2	ВИЗНАЧЕННЯ НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ ПАЛІ В ГРАНИЧНОМУ СТАНІ	81
1.3.3	ВИГИН ПАЛІ В ГРУНТІ, ЩО МАЄ ПОВЗУЧІСТЬ	84
1.3.3.1	РОЗРАХУНОК ПАЛЬ ЗА ДОПОМОГОЮ КАНОНІЧНИХ РІВНЯНЬ ЗВИЧАЙНОГО ВИГЛЯДУ	87
1.3.3.1.1	ПРУЖНО-МИТТЄВА СТАДІЯ	87
1.3.3.1.2	СТАДІЯ ТРИВАЛОГО НАВАНТАЖЕННЯ	88
1.3.3.1.3	СИСТЕМА КАНОНІЧНИХ РІВНЯНЬ СТАДІЇ ТРИВАЛОГО НАВАНТАЖЕННЯ ПАЛЬ НА ПРУЖНО-ПОВЗУЧІЙ ОСНОВІ ВІНКЛЕРА	91
1.3.3.1.4	ГРАФІЧНЕ ПРЕДСТАВЛЕННЯ АЛГЕБРАЇЧНИХ РЕОЛОГІЧНИХ РІВНЯНЬ ДЕФОРМУВАННЯ ВІНКЛЕРОВОЇ ОСНОВИ КОНСТРУКЦІЙ	93
1.3.3.2	РОЗРАХУНОК ГОРИЗОНТАЛЬНО НАВАНТАЖЕНИХ ПАЛЬ, ЗАТИСНЕНИХ В РОСТВЕРК, З УРАХУВАННЯМ ТРИВАЛОСТІ ДЕФОРМУВАННЯ	96
1.3.3.3	РОЗРАХУНОК ГОРИЗОНТАЛЬНО НАВАНТАЖЕНИХ ПАЛЬ, ПРИ НАЯВНОСТІ РОЗПІРКИ В РІВНІ ГРУНТУ, З УРАХУВАННЯМ ТРИВАЛОГО ДЕФОРМУВАННЯ	106
1.3.3.3.1	ПРУЖНЬО-МИТТЄВА СТАДІЯ	106
1.3.3.3.2	РІШЕННЯ ЗАВДАННЯ З УРАХУВАННЯМ ПОВЗУЧОСТІ ГРУНТУ	111
1.3.4	ЛАБОРАТОРНІ ДОСЛІДЖЕННЯ	117
1.3.4.1.1	ОСНОВНІ ЗАВДАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	117

1.3.4.1.3	ТАРІРОВКА І ВИПРОБУВАННЯ ЗРАЗКІВ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ПАЛЬ	125
1.3.4.1.4	МЕТОДИКА ВИПРОБУВАНЬ ПАЛЬ НА ГОРИЗОНТАЛЬНУ НАВАНТАЖЕННЯ	126
1.3.4.1.5	СТАТИСТИЧНА ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	130
1.3.4.1.6	ПОРІВНЯННЯ ТЕОРЕТИЧНИХ І ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ, ЧИСЕЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ	131
1.3.4	РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТІВ	132
1.3.4.3	НАТУРНІ ВИПРОБУВАННЯ ПАЛЬ	136
1.3.4.3.1	ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ МАЙДАНЧИК № 1 (САЛТІВСЬКИЙ МАСИВ М.ХАРКОВА)	137
1.3.4.3.1.1	ЗАЛІЗОБЕТОННІ ПАЛІ	138
1.3.4.3.1.2	МЕТАЛЕВІ ПАЛІ	138
1.3.4.3.2	ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ В.С. МИРОНОВА (М. НОВОСИБІРСЬК)	138
1.3.4.3.3	ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ МАЙДАНЧИК № 2 (М.ПЕРВОМАЙСЬК, ХАРКІВСЬКА ОБЛ.)	141
1.4	Вовк Л.[1] АНАЛІЗ ПРИРОДНИХ ДЖЕРЕЛ ПИТНОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ УКРАЇНИ [1] Кафедра гідротехніки та водної інженерії, Національний університет «Львівська політехніка»	144
1.5	Гладишев Д.Г.[1], Гладишев Г.М.[2], Бродський М.О.[1], Вознюк Л.І.[1] ВАРІАНТ УЛАШТУВАННЯ ПРОХІДНОЇ ПІДВІСНОЇ СТЕЛІ В МЕЖАХ МІЖФЕРМОВОГО ПРОСТОРУ [1] Кафедра архітектурного проектування та інженерії Національного університету «Львівська політехніка» [2] Кафедра будівельних конструкцій та мостів Національного університету «Львівська політехніка»	152

1.6	Зятюк Ю.[1], Борисюк О.[2], Фурсович М.[1], Попович П.[1] ПЕРЕВАГИ ВИКОРИСТАННЯ СТАЛЕФІБРОБЕТОНУ В ДОРОЖНЬОМУ БУДІВНИЦТВІ [1] Кафедра автомобільних доріг, основ та фундаментів, Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне [2] Кафедра промислового, цивільного будівництва та інженерних споруд, Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне	160
1.7	Коверніченко Л.М.[1] БУДІВЕЛЬНІ МАТЕРІАЛИ [1] Криворізький національний університет,Кривий Ріг, вул..Матусевича	169
1.8	Смірнова О.В.[1] ОРГАНІЗАЦІЯ ТА БЛАГОУСТРІЙ ДВОРОВОГО ПРОСТОРУ ЕКООРІЄНТОВАНИХ ЖИТЛОВИХ КОМПЛЕКСІВ [1] Кафедра архітектури будівель і споруд та дизайну архітектурного середовища, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова	203
2.	CHEMICAL TECHNOLOGY	
2.1	Borutska Y.[1], Srivastava P.[2], Getman I.[3], Holovach T.[4], Muzyka S.[5] PECULIARITIES OF THE FLYSCH FORMATION OF THE UKRAINIAN CARPATHIANS AND THEIR INFLUENCE ON THE FORMATION OF FRESH WATERS OF THE BASIN [1] Tourism Department, Lviv National Agrarian University, Lviv, Ukraine; [2] General Secretary, FATER Academy of India; [3] Department of Computer Information Technologies, Donbass State Engineering Academy; [4] Department of Foreign Languages and Culture of Professional Speech, Lviv State University of Internal Affairs [5] The teacher of financial literacy and geography Lviv Economic Lyceum	211

2.2	Starokadomsky D.[1], , Reshetnyk M.[3], Sigareva N.[1], Terebilenko A.[4], Shulga S.[1] FILLING BY MICRO-DISPERCED INORGANIC MINERAL COMPONENTS AS A WAY TO OBTAIN A THERMO-HARDENING & THERMO-PLASTICIZE EPOXY-COMPOSITES [1] Chuiko Institute of Surface Chemistry, National Academy of Sciences of Ukraina [3] National Museum of Natural History NAS, Ukraina [4] Kholodny Institute of Botany NAS, Ukraina	218
2.3	Trus I.[1], Halysh V.[1,2], , Nikolaichuk A.[2], Gomelya M.[1], Krysenko T.[1] COMPREHENSIVE ENVIRONMENTALLY SAFE WATER TREATMENT TECHNOLOGIES [1] Department of Ecology and Technology of Plant Polymers, Faculty of Chemical Engineering, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute» [2] Laboratory of the Kinetics and Mechanisms of Chemical Transformations on Solid Surfaces, Chuiko Institute of Surface Chemistry of National Academy of Sciences of Ukraine	227
2.4	Рахымбеков А.Ж.[1] СИНТЕЗ ПОЛУПРОВОДНИКОВОЙ ПЛЕНКИ С ПОМОЩЬЮ СУПЕРИОНИКА [1] НАО Жетысуский университет имени И. Жансугурова	258
3.	COMPUTER SCIENCE	
3.1	Kyivska K.[1], Tsiutsiura S.[1], Tsiutsiura M.[1], Terentyev O.[2] BIM-TECHNOLOGIES IN MODERN CONDITIONS OF THE CONSTRUCTION INDUSTRY [1] Department of Information Technology, Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine [2] Department of Information Technology of Design and Applied Mathematics, Kyiv national university of construction and architecture, Kyiv, Ukraine	267

3.2	Zaykov V.[1], Mescheryakov V.[2], Zhuravlov Y.[3], Gnatovska A.[2] THERMAL REGIME CONTROL OF THERMOELECTRIC COOLING DEVICES WHEN MINIMIZING A COMPLEX OF FOUR BASIC PARAMETERS [1]Department of Systems for Ensuring Thermal Regimes of Electronic Equipment, Odessa Research Institute [2] Department of Informatics, Odessa, State Environmental University [3] Department of Technology of Materials and Ship Repair, National University «Odessa Maritime Academy»	276
3.3	Бойко Н.[1] ЗАСТОСУВАННЯ ЗАДАЧІ БАГАТОРУКОГО БАНДИТА ДЛЯ МАКСИМІЗАЦІЇ ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ МЕРЕЖІ [1] Кафедра систем штучного інтелекту, Національний університет “Львівська політехніка”	292
3.4	Кононихін О.[1], Філь Н.[1], Чорний Б.[1], Мірошник В.[1] МОДЕЛЬ ВИБОРУ ГЕОІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ДОРОЖНЬО-БУДІВЕЛЬНОЇ ОРГАНІЗАЦІЇ В УМОВАХ ІНТЕРВАЛЬНОЇ ІНФОРМАЦІЇ [1]Кафедра автоматизації та комп’ютерно-інтегрованих технологій, Харківський національний автомобільно-дорожній університет	300
3.4.1	СТРУКТУРНА СХЕМА ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВИБОРУ ГЕОІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ДОРОЖНЬО-БУДІВЕЛЬНОЇ ОРГАНІЗАЦІЇ В УМОВАХ ІНТЕРВАЛЬНОЇ ІНФОРМАЦІЇ	302
3.4.2	МЕТОДИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ В УМОВАХ ІНТЕРВАЛЬНОЇ ІНФОРМАЦІЇ	304
3.4.3	МОДЕЛЬ ВИБОРУ ГЕОІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ДОРОЖНЬО-БУДІВЕЛЬНОЇ ОРГАНІЗАЦІЇ	307
3.5	Кривобока Г.[1], Самсонов В.[2], Сільвестров А.[3], Спінул Л.[3] ІНТЕГРОВАНИЙ МЕТОД НАЙМЕНШИХ КВАДРАТІВ ЯК ЕФЕКТИВНИЙ ЗАСІБ ПАРАМЕТРИЧНОГО ОЦІНЮВАННЯ У РЕАЛЬНИХ УМОВАХ [1] Вінницький фаховий коледж Національного університету харчових технологій [2] Кафедра інформаційних систем Національного університету харчових технологій [3] Кафедра теоретичної електротехніки, Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського	310

3.6	Чикина Н.А.[1], Антонова И.В.[1] ДВА ПОДХОДА К ПРОГНОЗИРОВАНИЮ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ [1] Кафедра высшей математики, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»	317
3.6.1	ПРЕДПРОГНОЗНЫЙ АНАЛИЗ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ МЕТОДАМИ ФРАКТАЛЬНОГО АНАЛИЗА И ФАЗОВЫХ ТРАЕКТОРИЙ	318
3.6.2	ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ МЕТОДОМ СКРЫТЫХ МАРКОВСКИХ МОДЕЛЕЙ	323
3.7	Ярош С.П.[1], Савельєв А.М.[1], Запара Д.М.[1], Новіченко С.В.[1], Третяк В.Ф.[1] ІНФОРМАЦІЙНО-РОЗРАХУНКОВА СИСТЕМА ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕННЯ "АРГУМЕНТ - 2021" [1] Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Україна	330
4.	ELECTRICAL ENGINEERING	
4.1	Denysiuk S.[1], Derevianko D.[1], Romanchenko O.[1] DETERMINATION OF THE INFLUENCE OF PRIMARY FUEL CONSUMPTION ON THE ASSESSMENT OF SUBOPTIMALITY OF GENERATION AND CONSUMPTION SCHEDULES [1] Department of power supply, National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”	339
5.	ELECTRONICS	
5.1	Dobrolyubova M.[1], Kozyr O.[1], Statsenko O.[1], Shevchenko K.[1] FEATURES OF POWER ELECTRONIC DEVICES APPLICATIONS IN AUTOMATIC TEST EQUIPMENT [1] Department of Information and Measuring Technologies, National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”	352

5.2	Бурлак Г.[1], Вілінська Л.[1] ЛЮМІНЕСЦЕНТНІ ВЛАСТИВОСТІ ПЛІВОК ОКСИДУ АЛЮМІНІЮ ТА ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ В ЯКОСТІ СЕНСОРІВ [1] Кафедра фізики, Одеська державна академія будівництва та архітектури	378
6.	FOOD TECHNOLOGY	
6.1	Antiushko D.[1], Shapovalova N.[1] THE RESEARCH OF CONSUMER PROPERTIES OF GERODIETIC DRY SOLUBLE PRODUCT FOR ENTERAL NUTRITION [1] The department of commodity science, safety and quality management, Kyiv national university of trade and economics	386
6.2	Fursik O.[1], Kuzmyk Y.[2], Svyatnenko R.[3], Marynin A.[3], Strashynskyi I.[1], Pasichniy V.[1] THE STUDY OF THE ABILITY OF SOY ISOLATES OF DIFFERENT TRADEMARKS TO INTERACT WITH WATER MOLECULES [1] Department of Technologies of Meat and Meat Products, Educational and Scientific Institute of Food Technologies, National University of Food Technologies [2] Department of Technologies of Milk and Dairy Products, Educational and Scientific Institute of Food Technologies, National University of Food Technologies [3] Problem Scientific and Research Laboratory, National University of Food Technologies	402
6.3	Kyshenko V.[1], Romashchuk O.[1], Pankov D.[1] RECONSTRUCTION OF ATTRACTORS OF COMPLEX SYSTEMS ON THE BASIS OF TIME SERIES [1] Department of automation and intelligent control systems National University of Food Technologies, Ukraine	408
6.4	Kyshenko V.[1], Ladanyuk A.[1], Kryshchenko D.[1], Biletskyi M.[1] DEVELOPMENT THE TECHNOLOGICAL MONITORING SUBSYSTEM OF THE DISTILLATION-RECTIFICATION FACILITY MANAGEMENT SYSTEM [1] Department of automation and intelligent control systems, National University of Food Technologies, Ukraine	421

6.5	Peshuk L.[1], Kondratiuk N.[1], Polyvanov Y.[1], Kozhemyaka O.[1] THEORETICAL AND PRACTICAL FOUNDATIONS OF BEVERAGE PRODUCTION WITH A HIGH CONTENT OF BIOLOGICALLY ACTIVE SUBSTANCES [1] Department of Food Technologies, Oles`Honchar Dnipro National University	430
6.6	Verkhivker Y.[1], Myroshnichenko E.[2], Pavlenko S.[2], Dotsenko N.[2] РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПЛОДООВОЩНЫХ НАПИТКОВ, ОБОГАЩЕННЫХ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ДОБАВКОЙ КОЛЛАГЕНОМ [1] Department of Commodity science and customs, Odessa National Academy of Food Technologies [2] Department of Bioengineering and Water, Odessa National Academy of Food Technologies	439
6.7	Гачак Ю.Р.[1], Гутий Б.В.[1] РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ, ОРГАНОЛЕПТИЧНІ ТА ТЕХНОЛОГІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОЗИНОГО СИРУ ІЗ СПЕЦІЯМИ [1] Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Ґжицького, м. Львів, Україна	452
6.8	Дзюба Н.А.[1], Дубина А.А.[1], Дубина А.А.[1] РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ СТРУКТУРОВАНИХ ДЕСЕРТІВ З ДЕТОКС ВЛАСТИВОСТЯМИ [1] Кафедра технології ресторанного і оздоровчого харчування, Одеська національна академія харчових технологій	468
6.9	Кондратюк Н.В.[1], Степанова Т.М.[2] НАУКОВІ АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ УРОНАТНИХ ПОЛІСАХАРИДІВ У ТЕХНОЛОГІЇ ХАРЧОВОЇ ПРОДУКЦІЇ [1] Кафедра харчових технологій, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара [2] Кафедра технології харчування, Сумський національний аграрний університет	484

7.	HISTORY	
7.1	Польщикова Н.[1], Василенко А.[1], Сташенко М.[1], Танивердиев А.[1], Уманенко И.[1] ЖИЛАЯ И ОБЩЕСТВЕННАЯ АРХИТЕКТУРА СТЕПНОЙ И ЛЕСОСТЕПНОЙ ЗОН ВОСТОЧНОЙ ЕВРОПЫ В ЭПОХУ ЭНЕОЛИТА [1] Кафедра Дизайна архитектурной среды, Одесская государственная академия строительства и архитектуры	504
8.	INNOVATIVE TECHNOLOGIES	
8.1	Savenko V.[1], Zuravskiy O.[1], Vysotska L.[1], Pobeda S.[1], Kleshchenko O.[1] MODIFICATOR CONTRRUST AS ANTICORROSION INNOVATIVE TOOL FOR TECHNOLOGICAL PROGRESS END-ENVIRONMENTAL PROTECTION [1] Kyiv National University of Construction and Architecture	512
8.2	Лемешев М.[1], Черепаха Д.[1], Черепаха А.[1], Стаднийчук М.[1], Королевская С.[1] ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ В СТРОИТЕЛЬНОЙ ИНДУСТРИИ ЭФФЕКТИВНЫЙ СПОСОБ СБЕРЕЖЕНИЯ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ [1] Кафедра строительства, городского хозяйства и архитектуры. Винницкий национальный технический университет	519
8.3	Savenko V.[1], Nesterenko I.[1], Shatrova I.[1], Demydova O.[1], Klyueyva V.[1] ОСНОВНЫЕ НЕОБХОДИМЫЕ ФАКТОРЫ ЭФФЕКТИВНОГО РАЗВИТИЯ СТРОИТЕЛЬНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ И ПРОБЛЕМЫ ВНЕДРЕНИЯ ИННОВАЦИЙ [1] Kyiv National University of Construction and Architecture	525
8.4	Саньков П.М.[1], Журбенко В.М.[1] КОМПЛЕКСНА ОЦІНКА ВІЗУАЛЬНИХ ЯКОСТЕЙ МІСЬКОГО СЕРЕДОВИЩА ЯК КРОК ДО ЙОГО СИСТЕМНОЇ ГАРМОНІЗАЦІЇ [1] Придніпровська академія будівництва та архітектури, м. Дніпро	541

8.5	Сєлюков О.В.[1], Лєнков Є.С.[2], Зінчик А.Г.[3], Пашков О.С.[4], Бондаренко Т.В.[3] МЕТОДИКА ОПТИМІЗАЦІЇ ПАРАМЕТРІВ СТРАТЕГІЇ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ЗА СТАНОМ СКЛАДНИХ ОБ`ЄКТІВ ТЕХНІКИ З АДАПТИВНОЮ ЗМІНОЮ ПЕРІОДИЧНОСТІ КОНТРОЛЮ [1] ДП «Центр точного машинобудування», м. Київ, Україна [2] Центральний науково-дослідний інститут Збройних Сил України, м. Київ, Україна [3] Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут, м. Київ, Україна [4] Міністерство оборони України, м. Київ, Україна	545
9.	MECHANICAL ENGINEERING AND MECHANICAL ENGINEERING	
9.1	Hlushkova D.[1], Kalinin V.[1], Stepanyuk A.[1], Hnatyuk A., Serzhenko I. STUDYING THE PROPERTIES OF STEEL FOR SIDEWALLS OF CHUTE CONVEYORS [1] Харківський національний автомобільно-дорожній університет	560
9.2	Roik T.[1], Gavrysh O.[2], Gavrysh J. [2] SURFACES' ROUGHNESS OF COMPOSITE BEARINGS BASED ON GRINDING WASTE FOR PRINTING MACHINES UNITS AT FINE CUBONITE GRINDING [1] Publishing and Printing Institute, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute" [2] Department of Management and Marketing, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"	565
9.3	Senkus V.[1], Kolomiiets A.[1], Behen P.[1], Kotovskii O.[1] PLANETARY CAM MECHANISMS OF ONE-DIRECTIONAL MOVEMENT WITH A STOP [1] Department of Computerized Complexes of Printing and Packing Industries, Ukrainian Academy of Printing	577

9.4	Nechiporenko V.[1], Salo V.[1], Litovchenko P.[1] СИСТЕМНИЙ ПІДХІД ДО АВТОМАТИЗОВАНОГО ВИБОРУ РАЦІОНАЛЬНОЇ ПОСАДКИ З НАТЯГОМ НА ОСНОВІ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ [1] National Academy of the National Guard of Ukraine, Kharkov, Ukraine	586
9.5	Яглінський В.[1], Гутиря С.[1] ОБГРУНТУВАННЯ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ ПРОМИСЛОВИХ РОБОТІВ І ПЛАТФОРМ У СКЛАДІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ [1] Державний університет «Одеська політехніка», Україна	599
10.	METALLURGY AND ENERGY	
10.1	Matiko F.[1], Matiko H.[2], Krykh H.[1] ANALYSIS OF METHODS FOR DETERMINING DENSITY AND COMPRESSIBILITY FACTOR OF GASEOUS ENERGY CARRIERS [1] Department of Automation and Computer-Integrated Technologies, Lviv Polytechnic National University [2] Department of Heat Engineering and Thermal and Nuclear Power Plants, Lviv Polytechnic National University	610
10.2	Крупка Я.[1] РОЗВІДКА ГІРНИЧИХ ВИРОБОК ВУГІЛЬНИХ ШАХТ В УМОВАХ ВИСОКИХ ТЕМПЕРАТУР ТА ЗАГАЗОВАНОСТІ РУДНИЧНОЇ АТМОСФЕРИ [1] Відділ електротехнічних, пожежно-технічних та досліджень питань безпеки життєдіяльності, Одеський науково-дослідний інститут судових експертиз	622
11.	SCIENTIFIC BASES OF SOLVING ENGINEERING PROBLEMS AND PROBLEMS	
11.1	Wyszniewski D.[1] SYSTEMATYCZNOŚĆ KATEGORII PLANOWANIE PRZESTRZENNE [1] Magister, Charkowski Narodowy Uniwersytet Gospodarki Komunalnej im. OM Jeketowa	633

12.	TELECOMMUNICATIONS	
12.1	Кононов С.[1], Білик О.[1], Олійник В.[1] АВТОМАТИЧНЕ КАЛІБРУВАННЯ ВИСОКОЧАСТОТНОГО ЗІГ-ГЕНЕРАТОРА [1] Факультет інфокомунікацій, радіоелектроніки і наносистем, Вінницький національний технічний університет	642
13.	TRANSPORT	
13.1	Dolzhenko N.[1] ОЦЕНКА РИСКОВ БЕЗОПАСНОСТИ ПОЛЕТОВ С УЧЕТОМ ОПАСНЫХ МЕТЕОЯВЛЕНИЙ СРЕДНЕЙ АЗИИ И КАЗАХСТАНА [1] Department of Flight Operation of Aircraft Civil Aviation Academy, Almaty , Kazakhstan	658
13.2	Артеменко О.[1], Тимошенко А.[1], Сагановская Л.[1], Данилко О.[1] АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРЕДПОЛЕТНОГО ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ [1] Кафедра информационных технологий, Летная академия Национального авиационного университета	672
13.3	Зубенко Д.Ю.[1], Петренко А.Н.[1], Халиль В.В. [2] ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИСКУСТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ НЕСЧАСТНЫХ СЛУЧАЕВ В РЕЗУЛЬТАТЕ ВОЗГОРАНИЯ ОБЪЕКТОВ НА ТРАНСПОРТЕ [1] Кафедра электрического транспорта, Харьковский национальный университет городского хозяйства имени О. М. Бекетова [2] Кафедра охраны труда и безопасности жизнедеятельности, Харьковский национальный университет городского хозяйства имени О. М. Бекетова	681
	REFERENCES	704

SECTION 1. ARCHITECTURE AND CONSTRUCTION

DOI 10.46299/ISG.2021.MONO.TECH.II-18-24

1.1 Survey of emergency situations of buildings and structures

У часі спостереження за існуючими будівлями та спорудами все частіше проявляються недоліки неякісного будівництва, проектування чи експлуатації у вигляді аварійних ситуацій.

В Україні гостро постає проблема стану існуючого стану будівель і споруд. Більше 70% житлового фонду держави є застарілим, а значна частина будівель перебувають у аварійному стані.

Деякі реальні випадки аварійних ситуацій, на прикладі трьох реальних об’єктів обстеження, наведено нижче.

Помилки будівництва житлових будинків 50-60 років позначаються на теперішньому стані житлового фонду, значна частина якого знаходиться у аварійному стані та становить небезпеку для життя людей. Прикладом цього являється обвал частини будинку у м. Дрогобичі, де причиною обвалу стало руйнування цегляної кладки середньої несучої стіни будинку через низьку марку цегли та розчину, внаслідок сильного зволоження через відсутність дренажу та гідроізоляції.

Основні дефекти будівлі: обвал будівельних конструкцій частини будівлі усіх 4-х поверхів (fig. 1), замокання фундаментів та стін підвалу, відсутність гідроізоляції, видима втрата стійкості середньої несучої стіни підвалу, вертикальні тріщини у стіні із розкриттям до 10 мм по висоті несучої цегляної стіни із руйнуванням кладки (fig. 3), відсутність опорядження цегляної кладки стін підвалу. Замокання стіни, висоли, ураження грибком, деструкція цегли, а також вивітрювання та втрата міцності розчину швів, сильна вологість підвальних приміщень, відсутність підлоги, руйнування цоколя, місцями відсутність опорядження, опорядження цегляної кладки, деструкція цегли, замокання стіни, висоли, ураження грибком, вивітрювання розчину із швів, вертикальні та горизонтальні тріщини по стінах та простінках по усій будівлі,

провисання, недостатня зона обпирання плит сходової площадки, провисання плит перекриття та перемичок на які виконувалося їх обпирання внаслідок обвалу конструкцій, наявні тріщини під дисками перекриття в рівні стелі, а також свіжі тріщини між швами плит перекриття, що свідчить про порушення дисків перекриття, внаслідок поштовху, який ймовірно спричинив обвал будівельних конструкцій частини будівлі, провисання конструкцій дерев'яної шатрової покрівлі над обваленою частиною будівлі, відсутній дренаж по периметру будівлі.

Fig.. 1. Обвал частини будівлі.

Встановлені основні помилки будівництва будівлі: відсутність дренажу та гідроізоляції у обстежуваній будівлі, низька марка цегли та розчину, що підтверджено лабораторними випробуваннями (Table 1).

Table 1.

Протокол випробувань цегли з об’єкту

№ випробування	Розрахункові розміри зразка		Площа зразка, см	Руйнівне навантаження, т	Напруження, МПа	Марка цегли
	А, см	В, см				
1	12,0	12,4	148,80	4,19	2,82	М25
2	11,8	12,2	143,96	4,37	3,03	М25
3	11,9	12,5	148,75	2,75	1,85	М15
4	12,0	12,3	147,60	3,12	2,11	М20
5	11,9	12,4	147,56	3,44	2,33	М20
6	11,9	12,3	146,37	2,35	1,60	М15
7	12,0	12,2	146,4	5,17	3,53	М35
Середнє значення					**2,47**	**М20**

Також були створені розрахункові моделі правої та лівої частин будівлі, на основі чого отримано розподіл напружень у середній несучій та найбільш навантажені стіні.

Максимальні напруження у простінках підвалу по осі Б, в осях 6-7, 7-8 перевищують допустимі значення міцності на стиск кладки R = 29,56 т/м^2.

Ny = -38…101 т/м^2 > R = 29,56 т/м^2

Як видно із розрахунків – напруження стиску, які виникають у простінках середньої несучої стіни, суттєво перевищують несучу здатність цегляної кладки. Таке явище підтверджено також результатами обстеження будівлі де виявлені аварійні простінки.

Отже чітко можна стверджувати, що будинки 50-60 років, які проектувалися на термін до 50 років, на сьогоднішній час потребують проведення детальних обстежень їх технічного стану, з метою забезпечення їх безпечної експлуатації.

Недоліки проектування та будівництва також можна спостерігати на прикладі ще одного із будинків, в якому з’явилися вертикальні та косі тріщини по несучих стінах між лоджіями та житловою частиною. Конструктивна схема будівлі, частина якої обстежувалася, із повздовжніми та поперечними цегляними

несучими стінами та горизонтальними дисками перекриття. Будівля житлового призначення.

У будівлі передбачений сходово-ліфтовий вузол. Висота житлового поверху від підлоги до стелі 2,5 м. висота будівлі до верху парапету 28,4 м.

Основні дефекти будівлі (fig. 2), вертикальна тріщина по висоті будівлі на примиканні несучих стін лоджії та будинку із шириною розкриття до 40 мм, неякісна перев'язка цегляної кладки поздовжніх несучих стін будівлі з поперечними несучими стінами лоджії, відхилення по горизонталі від будівлі несучих конструкцій лоджії, діагональна тріщина у кладці несучої стіни лоджії із розходженням швів до 20 мм.

Fig.. 2. Вертикальна тріщина на примиканні несучих стін та лоджії .

На (fig. 2) можна побачити вертикальну тріщину по висоті будівлі, ширина якої найбільша у найвищій точці будівлі та досягає 40 мм. Тріщина, в основному, проходить по висоті між рядами кладки, але також спостерігаються тріщини і по тілу цегли у ряді, яка виконує функцію перев’язки стіни лоджії з несучою стіною будівлі .

Кладка цегли лоджії трирядна із перев’язкою у один ряд, який з’єднує лоджію із перпендикулярною несучою стіною будинку. Плити перекриття лоджії збірні ребристі залізобетонні опираються на торцеві несучі цегляні стіни лоджії і не прикріплені до будівлі. Це означає, що з’єднання лоджії з будинком вирішене

лише одним рядом кладки, який вкладений по висоті через три ряди. Після утворення наскрізної тріщини по висоті будівлі лоджія починає працювати як окремостояча частина , відповідно настає небезпека її руйнування.

Для більшого розуміння роботи конструкції після утворення тріщин та із урахуванням її конструктивної схеми та завантаження біла створена розрахункова скінченно-елементна модель у ПК “ЛІРА-САПР” та отримано переміщення лоджії (fig. 4).

У торцевій несучій стіні лоджії зафіксована також діагональна тріщина, яка розміщена в рівні 6-го поверху (fig. 4). Причиною утворення цієї тріщини є те, що після того як зруйнувалася перев’язка стін лоджії зі стінами будинку лоджія почала відхилятися від будівлі, за рахунок того, що по фасаду лоджії розташовані додаткові постійні погонні навантаження від огороджуючих залізобетонний стінових панелей та засклення. На рисунку показано розподіл вертикальних напружень Ny, а також діагональна тріщина, яка розрізає цегляну кладку по швах.

Зовні по фасаду лоджії прикладені більші навантаження, що, у свою чергу через виникнення наскрізної вертикальної тріщини, призводить до нерівномірного розподілу напружень.

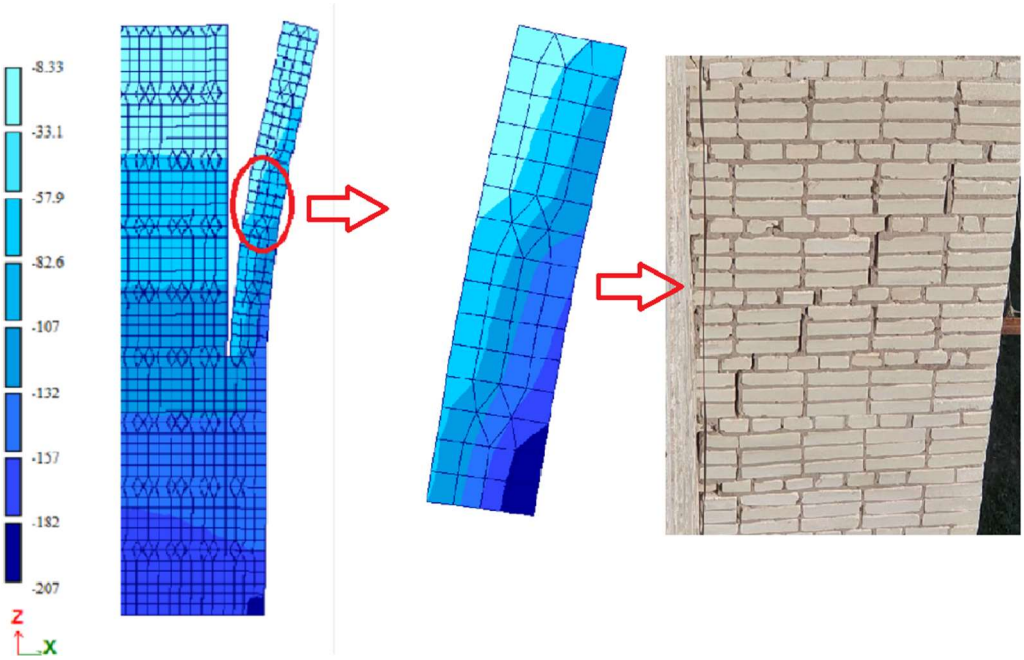


Fig.. 4. Порівняння характеру розподілу напружень Ny із діагональною тріщиною

Згідно порівняння характер розподілу напружень відповідає характеру розвитку діагональної тріщини.

На основі проведеного візуального обстеження видимої частини будівельних конструкцій та результатів розрахунків можна зробити висновок, що причиною утворення тріщин є неякісна перев'язка кладки несучих стін лоджії та несучих стін будівлі, що спричинило аварійний стан розглянутої ділянки будівлі.

Підсилення розглянутих будівельних конструкцій запропоновано виконати металевими конструкціями, а саме обоймами та тяжами, які повинні з'єднати конструкцію лоджії із несучою стіною будівлі. При виконанні проекту посилення необхідно врахувати усі нормативні нормативні документи, які чинні на сьогоднішній день.

Прикладом недбалої експлуатації житлового фонду є аварійна ситуація із обвалом несучих конструкцій покрівлі житлової п'ятиповерхової цегляної будівлі з технічим поверхом у місті Львові.

Конструктивна схема будівлі – з несучими поперечними та поздовжніми цегляними стінами та дисками перекриття та покриття із збірних залізобетонних плит. Конструкцій покриття технічного поверху в осях 1-2, А-В будівлі – збірні ребристі плити покриття, які опираються на цегляні стіни по осях А та В та на збірний залізобетонний ригель по осі Б, який опирається на цегляні несучі стіни.

На момент обстеження конструкцій технічного поверху в осях 1-2, А-В знаходились у аварійному стані.

Загалом при обстеженні конструкцій технічного поверху в осях 1-2, А-В зафіксовано: руйнування опорної пілястри з цегляної кладки в осях 2, Б, внаслідок замокання та руйнування конструкції покрівлі, просідання (до 800 мм) збірного залізобетонного ригеля в осях 2, Б, внаслідок руйнування опорної пілястри з цегляної кладки у місці опирання, зміщення з проектного положення диску покриття із збірних ребристих залізобетонних плит покриття, перекіс та зменшення зони опирання плит покриття внаслідок просідання ригеля, похилі тріщини на приопорних ділянках ребристих плитах покриття внаслідок

просідання збірного залізобетонного ригеля, замокання та руйнування конструкції покриття (fig. 5).

Fig.. 5. Руйнування цегляної кладки, обвал конструкцій покрівлі.

За результатами проведеного обстеження було зроблено висновок, що обстежувані конструкції технічного поверху в осях 1-2, А-В будівлі у м. Львові знаходяться в аварійному (4) стані, необхідно терміново виконати протиаварійні роботи з тимчасової стабілізації ситуації.

Для можливості подальшої безпечної експлуатації будівлі необхідно виконати протиаварійні роботи. Виконати додаткове інструментальне обстеження існуючих конструкцій Розробити робочий проект, в якому передбачити: провести роботи з підняття конструкцій покриття (ригель та плити покриття) у проектне положення; відновити цегляну кладку; виконати посилення опорних цегляних пілястр металевими обоймами у місці опирання балок; влаштувати додаткові металеві балки для забезпечення надійного опирання ребристих плит покриття; виконати посилення ребристих плит у яких з'явилися похилі тріщини; виконати ремонт покрівлі та відновити внутрішнє водовідведення дощових і талих вод з покрівлі.

DOI 10.46299/ISG.2021.MONO.TECH.II-25-48

1.2 Methods of increasing carrying capacity of transport constructions made of metal corrugated structures under operating conditions

1.2.1. Criteria for assessing the reliable operation of transport constructions made of corrugated metal structures

The assessment of the bearing capacity of transport constructions with MCSs is one of the most important factors in the formation and maintenance of reliable operation of transport infrastructure [11–19]. Therefore, the development and improvement of methods for calculating transport constructions is constantly given considerable attention, especially to promising constructions made of corrugated metal structures.

The safe operation of corrugated metal structures in the body of the embankment of the railway or highway is determined by the ratio of the parameters of the bearing capacity of the structure $R(t)$ and the load $Q(t)$ caused by the action of mobile transport units. The ratio of R_0 to Q_0, even before the operation of corrugated metal structures determines the coefficient of strength:

$$n_0=R_0/Q_0. \quad (1)$$

The point of intersection of the curves of the bearing capacity $R(t)$ and the magnitude of the load $Q(t)$ gives the calculated durability of the construction t_p, i.e., determines the time to failure. The safe service life of the construction $[t]$ is defined as the ratio of the service life t_p of the construction with MCSs to the safety factor n_t:

$$[t]=t_p/n_t. \quad (2)$$

In formula (2) the value of the safety factor n_t is determined according to reference materials, expertly or by calculation. In addition, it can be seen from formula (2) that if n_0 = const (or $Q_0 = R_0$ = const), then the transport construction with MCSs will have unlimited durability: $t_r = t_p^{(1)} = \infty$. In the case of $n_0 \neq$ const, the transport construction with MCSs will have limited durability, which depends on the intensity of changes in the load parameters $Q(t)$ and the safety factor n_t. In addition, durability will depend on the types of cross-sectional shapes of the construction, the size of the

corrugated metal sheet and the design features of structures such as MultiPlate or SuperCor.

It is obvious that the lowest value of durability of the construction with MCSs corresponds to the case when there is a simultaneous decrease in bearing capacity *R* and transport load increase *Q*. The maximum durability of the construction with MCSs will be in the case when *Q* = const and *R* = const. Therefore, at the design stage of the construction with MCSs it is necessary to ensure their safe operation by reducing the dynamic action of the transport load *Q* and increasing the bearing capacity *R*, and hence – the durability of the construction.

At present, both in Ukraine and in other countries, there are a number of regulations on calculations of metal transport constructions strength reflecting the current level of knowledge and technical capabilities in this sphere [31]. The calculation of the strength of the ultimate condition of pipelines is performed on the basis of the ultimate strength of the structural material under the following condition:

$$\sigma_p \leq \psi[\sigma], \tag{3}$$

where: σ_p – the maximum total stress from the action of force factors; $[\sigma]$ – estimated allowable stress values for the construction material; ψ – coefficient that takes into account the stress state of the structure. Permissible stresses are determined by the formula:

$$[\sigma] = \frac{\sigma_B m}{K_1 K_2}, \tag{4}$$

where: σ_B – the ultimate strength of the material in accordance with state standards and specifications; *m* – coefficient of working conditions of the construction; K_1 – safety factor for the material; K_2 – reliability factor.

The safety factor of the material reflects possible reduction of the ultimate strength of the metal structure compared to the standard value, because during operation of constructions with MCSs the reduction of wall thickness of the structure is possible compared to the design one and, accordingly, reliable operation of the construction with MCSs is questionable.

The coefficient of working conditions takes into account the possible inconsistency of the selected calculation scheme with the actual operation of the construction, in particular, the features of the interaction of the corrugated metal structure with the environment. In addition, this ratio reflects the impact of the consequences of structure destruction on the cost of repair and restoration works.

The calculation of transport constructions made of corrugated metal structures for strength is performed in accordance with regulations DBN V.1.2-15: 2009 [20] and VBN V.2.3-218-198: 2007 [21] according to the formula:

$$\frac{N}{A} \leq R_y m \tag{5}$$

where: N – normal (tangential) force in the corrugated structure from design loads per length λ of one corrugation; A – cross-sectional area of one wave of corrugation; R_y – design resistance of steel beyond yield strength, adopted in accordance with DBN V.2.3-14, and m=0.9 – coefficient of operating conditions of the construction with MCSs.

According to [21], the limiting relative changes of the horizontal or vertical diameters of the construction should not exceed 5 %. They are determined by the formula:

$$\varsigma = \frac{\dfrac{\gamma \cdot (h+R)}{E}}{\dfrac{\delta}{R} + \dfrac{E_0}{E}\left(1-\nu^2\right)} \tag{6}$$

where*:* R – radius of the structure; E_0 – modulus of strain of the backfill soil; E – modulus of steel elasticity; δ – thickness of the corrugated structure; ν=0,25 – Poisson's ratio of the building material*;* γ – specific weight of the building material.

The considered criteria are basic for estimation of the bearing capacity of transport constructions made of metal corrugated structures.

1.2.2. Reasons for reduced load-bearing capacity and durability of constructions made of metal corrugated structures

The main disadvantage of constructions made of corrugated metal structures, with increased beams, is the low operational reliability due to various factors of impact [22, 23, 24]. These include the specifics of construction with MCSs operation, which is determined by the nature of interaction of the metal shell and the backfill soil; provision of the necessary shape and certain dimensions with a limited height of the embankment on the railway or highway.

The poor compaction of the soil backfill can cause uneven subsidence of the embankment over the metal corrugated structures, strain of the reinforcement of the embankment slopes and distortion of the cross-sectional shape of constructions with MCSs. The loss of the construction shape has a negative impact on the performance of railways or highways including the construction itself (the appearance of potholes on the carriageway or unevenness on the railway track), and its durability (the appearance of deflections, residual strains).

To ensure the bearing capacity and durability increase of transport constructions with MCSs, it is necessary to conduct quality work both at the design and at the building stages. At the design stage, the deterioration of material properties over time should be taken into account, which is caused by the aggressiveness of the environment (soil, groundwater, chemicals), providing the use of fairly stable materials and their protection. In addition, the axial load from vehicles may increase during operation of the facility. Therefore, the development of design solutions at the design stage, to increase the load-bearing capacity of constructions, with minimal economic investment is an urgent problem and needs immediate solution.

1.2.3. Constructive options of bearing capacity and durability increase of transport constructions made of metal corrugated structures are offered

At present, there are a number of technical solutions for the reinforcement of constructions with MCSs. For example, increasing the bearing capacity of MCSs by means of metal sheet thickness enlargement of the structure or by double corrugation. However, the use of such design options is not always effective, both economically and technologically. This is due to the fact that each of the facilities functions in different operating conditions and requires an individual design solution to increase the load-

bearing capacity. The constructive decision as for the increase of a corrugated sheet thickness is economically unprofitable in most cases, and at each design of a construction, it is necessary to carry out technical and economic calculations.

Therefore, with the purpose of the load-bearing capacity and durability increase, and consequently, the safe operation of constructions with MCSs, the following design options are proposed in this work: the installation of additional stiffeners in the sinuses of a corrugated sheet in the form of round rods with diameter 16 mm. that increase structural rigidity; the installation of reinforcing plates curved in the shape of a corrugated sheet with the thickness equal to the thickness of the metal corrugated structure into the sinuses of the corrugated profile sheet; carrying out double corrugation in places of action of the greatest forces from vehicles.

The proposed design solutions should be taken into account at the design stage of a construction with MCSs. To confirm the effectiveness of the applied solutions, it is necessary to conduct a preliminary evaluation of them, with regard operational loads and economical indices.

A constructive variant of the bearing capacity and durability of MCSs increase by installing metal stiffeners into inside sinuses of the corrugated structure is shown in Fig. 1.

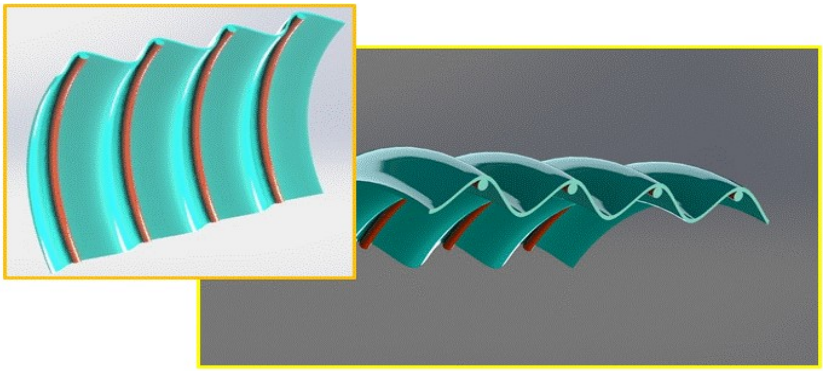


Figure 1. Metal corrugated structure with additional stiffeners

The stiffeners are round rods with diameter 16 mm, which are installed in the convex part of the corrugated structure on the inside. At the same time, it covers all cross section of a construction and works together with a corrugated metal sheet.

Another way to increase the load-bearing capacity and durability of transport constructions with MCSs is to install an overlay plate along the contour of the corrugated metal sheet (Fig. 2).

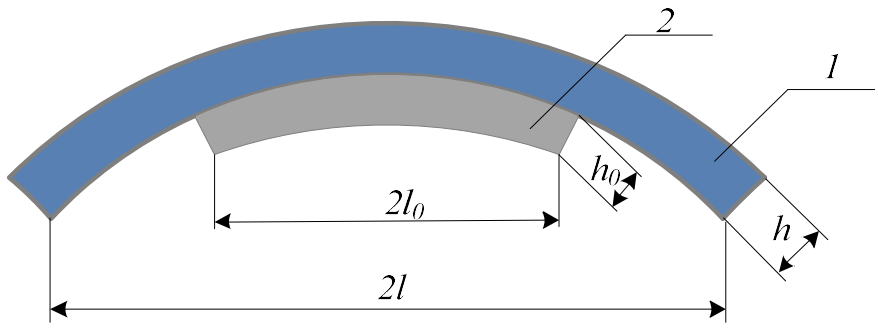


Figure 2. Overlay plate to increase the load-bearing capacity of MCSs: 1 – existing corrugated metal structure; 2 – metal overlay plate

Installation of stiffeners must be carried out in such a way that the reinforcement zone of the construction occupies the width of the carriageway or railway track (Fig. 3).

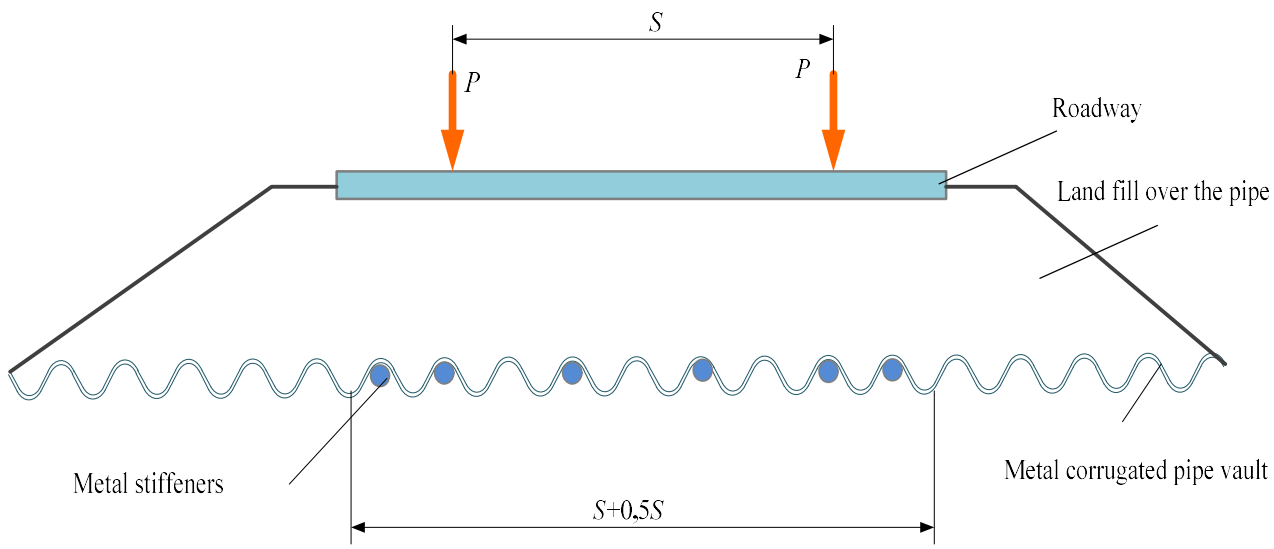


Figure 3. Scheme of reinforcement of the transport construction with MCSs by stiffeners

The advantage of this approach is the ability to distribute the material more efficiently, setting the stiffeners only in the most loaded cross-sectional segments of metal corrugated structures. One of the disadvantages of the design solution is the increase in the complexity of the work during metal structures installation.

1.2.4. Reinforcement of the transport construction with MCSs by double corrugation

In world practice, the method of double corrugation is used (Fig. 4), which is applied in the building of transport constructions made of corrugated structures such as MultiPlale and SuperCor.

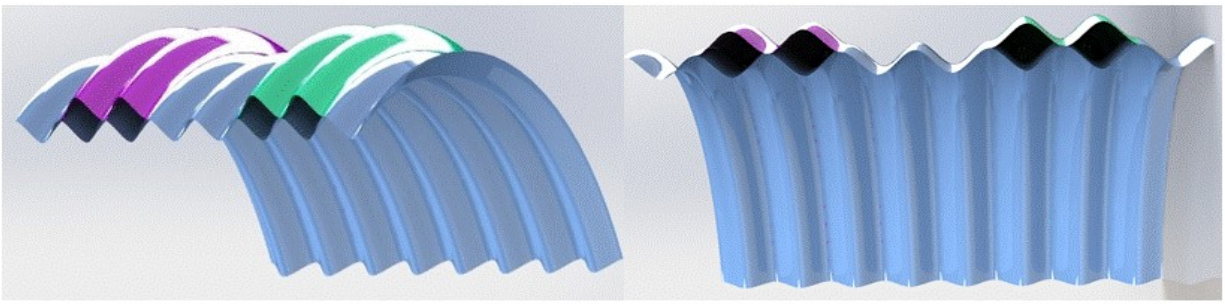


Figure 4. Metal corrugated structure with double corrugation

Double corrugation is not performed along the entire cross section of the pipe or bridge, but only in places where there are the greatest bending moments in the wall of the construction under the action of dynamic transport load. This method allows to increase the load-bearing capacity and durability of corrugated metal structures, and, in addition, to increase the safety traffic of vehicles. However, there are no reliable methods for assessing the load-bearing capacity of double-corrugated structures, which justifies the research in this sphere.

Each of the considered options for increasing the load-bearing capacity and durability of constructions with MCSs has its advantages and disadvantages. To compare and select the optimal design solutions, we will conduct a series of calculations to assess the load-bearing capacity of structures with MCSs reinforced with stiffening ribs as well as technical and economical indices depending on the power action of vehicles.

It should be noted that the proposed design solutions change the calculation scheme of the task and require the development of methods for estimating the stress-strain state.

1.2.5. Method for estimating the stress-strain state of a transport construction with MCSs reinforced with round stiffeners

Let's consider the case of a transport construction reinforcement made of corrugated metal structures by installing round stiffeners in the sinuses of the corrugated pipe profile. The view of the studied design option is shown in Fig. 1.

Mathematical formulation of the research. Let's consider an elastic corrugated cylindrical shell referred to the cylindrical coordinate system r, φ, z ($0 \le \varphi < 2\pi$). The cross section of this structure in the direction of z coordinate is shown in Fig. 5.

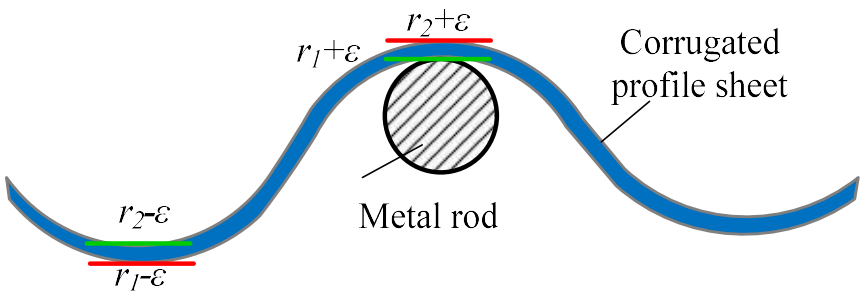


Figure 5. Scheme to describe the mathematical model of a corrugated shell reinforced with ribs

The inner S_1 and outer S_2 of the shell surface are respectively described by the equations:

$$r = r_1 + \varepsilon \sin az\,; \tag{7}$$

$$r = r_2 + \varepsilon \sin az\,. \tag{8}$$

Shell, along the lines,

$$\begin{cases} r = r_1 + \varepsilon, \\ z = \dfrac{\pi}{a}\left(\dfrac{1}{2} + 2n\right) \end{cases} \quad (n = 0, \pm 1, \ \pm 2, \ldots) \tag{9}$$

is reinforced with round stiffeners, which occupy areas:

$$(V_n) = \left\{(r, \varphi, z): r_0 - \sqrt{R^2 - (z - z_{0n})^2} \le r \le r_0 + \sqrt{R^2 - (z - z_{0n})^2}, 0 \le \varphi < 2\pi, z_{0n} - R \le z \le z_{0n} + R\right\}, \tag{10}$$

where: R – radius of the circle, which is the cross section of the stiffener and r_0 is equal to:

$$r_0 = r_1 + \varepsilon - R;\ z_{0n} = \frac{\pi}{a}\left(\frac{1}{2} + 2n\right). \tag{11}$$

The considered shell is under the action of forces P_r (φ, z), Pz (φ, z) applied to the outer surface S_2. The inner surface S_1 and the reinforcing stiffeners, with the exception of lines (9), are load-free. The side surfaces $z = \pm l$ of the shell are also free of loads.

We assume that the conditions of ideal mechanical contact of the shell with stiffeners are satisfied on the lines (9).

To determine the stress state of the shell and stiffeners, we use the equations and relations of the theory of elasticity.

The equations of equilibrium of the elementary volume of the considered bodies have the form:

$$\begin{aligned}
&\frac{\partial \sigma_{rr}}{\partial r} + \frac{1}{r}\frac{\partial \sigma_{r\varphi}}{\partial \varphi} + \frac{\partial \sigma_{rz}}{\partial z} + \frac{\sigma_{rr} - \sigma_{\varphi\varphi}}{r} = 0,\\
&\frac{\partial \sigma_{r\varphi}}{\partial r} + \frac{1}{r}\frac{\partial \sigma_{\varphi\varphi}}{\partial \varphi} + \frac{\partial \sigma_{\varphi z}}{\partial z} + \frac{2\sigma_{r\varphi}}{r} = 0,\\
&\frac{\partial \sigma_{rz}}{\partial r} + \frac{1}{r}\frac{\partial \sigma_{\varphi z}}{\partial \varphi} + \frac{\partial \sigma_{zz}}{\partial z} + \frac{\sigma_{rz}}{r} = 0,
\end{aligned} \tag{12}$$

where σ_{ij} ($i, j=r, \varphi, z$) are the components of the stress tensor.

The components of the strain tensor ε_{ij} ($i, j=r, \varphi, z$) and the displacement vector u_i ($i=r, \varphi, z$) are related by the relations:

$$\begin{gathered}
\varepsilon_{rr} = \frac{\partial u_r}{\partial r},\quad \varepsilon_{\varphi\varphi} = \frac{1}{r}\left(u_r + \frac{\partial u_\varphi}{\partial \varphi}\right),\quad \varepsilon_{zz} = \frac{\partial u_z}{\partial z},\\
\varepsilon_{r\varphi} = \frac{1}{2}\left(\frac{1}{r}\frac{\partial u_r}{\partial \varphi} + \frac{\partial u_\varphi}{\partial r} - \frac{u_\varphi}{r}\right),\\
\varepsilon_{\varphi z} = \frac{1}{2}\left(\frac{\partial u_\varphi}{\partial z} + \frac{1}{r}\frac{\partial u_z}{\partial \varphi}\right),\quad \varepsilon_{rz} = \frac{1}{2}\left(\frac{\partial u_z}{\partial r} + \frac{\partial u_r}{\partial z}\right).
\end{gathered} \tag{13}$$

The stresses σ_{ij} and the strains ε_{ij} are related by Hooke's law relations, which have the form:

$$\begin{aligned}
&\sigma_{rr} = 2G\left(\varepsilon_{rr} + \frac{\nu\theta}{1-2\nu}\right),\\
&\sigma_{\varphi\varphi} = 2G\left(\varepsilon_{\varphi\varphi} + \frac{\nu\theta}{1-2\nu}\right),\\
&\sigma_{zz} = 2G\left(\varepsilon_{zz} + \frac{\nu\theta}{1-2\nu}\right),\\
&\sigma_{r\varphi} = 2G\varepsilon_{r\varphi},\ \sigma_{\varphi z} = 2G\varepsilon_{\varphi z},\ \sigma_{rz} = 2G\varepsilon_{rz}.
\end{aligned} \tag{14}$$

Here: $\theta=\varepsilon_{rr}+\varepsilon_{\varphi\varphi}+\varepsilon_{zz}$; G – shear modulus; ν – Poisson's ratio.

Conditions for the periodicity of the stress-strain state of the shell and stiffeners with respect to the coordinate φ are given in the form:

$$\begin{aligned}
&\sigma_{r\varphi}\big|_{\varphi=0}=\sigma_{r\varphi}\big|_{\varphi=2\pi-0},\quad \sigma_{\varphi\varphi}\big|_{\varphi=0}=\sigma_{\varphi\varphi}\big|_{\varphi=2\pi-0},\quad \sigma_{\varphi z}\big|_{\varphi=0}=\sigma_{\varphi z}\big|_{\varphi=2\pi-0},\\
&u_r\big|_{\varphi=0}=u_r\big|_{\varphi=2\pi-0},\quad u_\varphi\big|_{\varphi=0}=u_\varphi\big|_{\varphi=2\pi-0},\quad u_z\big|_{\varphi=0}=u_z\big|_{\varphi=2\pi-0}.
\end{aligned} \tag{15}$$

The conditions of the ideal mechanical contact of considered bodies (stiffening ribs and a corrugated overlay) have the form:

$$\begin{aligned}
&\sigma_{rr}\left(r_1+\varepsilon-0,\varphi,z_{0n}\right)=\sigma_{rr}\left(r_1+\varepsilon+0,\varphi,z_{0n}\right),\\
&\sigma_{r\varphi}\left(r_1+\varepsilon-0,\varphi,z_{0n}\right)=\sigma_{r\varphi}\left(r_1+\varepsilon+0,\varphi,z_{0n}\right),\\
&\sigma_{rz}\left(r_1+\varepsilon-0,\varphi,z_{0n}\right)=\sigma_{rz}\left(r_1+\varepsilon+0,\varphi,z_{0n}\right),\\
&u_r\left(r_1+\varepsilon-0,\varphi,z_{0n}\right)=u_r\left(r_1+\varepsilon+0,\varphi,z_{0n}\right),\\
&u_\varphi\left(r_1+\varepsilon-0,\varphi,z_{0n}\right)=u_\varphi\left(r_1+\varepsilon+0,\varphi,z_{0n}\right),\\
&u_z\left(r_1+\varepsilon-0,\varphi,z_{0n}\right)=u_z\left(r_1+\varepsilon+0,\varphi,z_{0n}\right).
\end{aligned} \tag{16}$$

Let's assume that the set S corresponds to the union of the surface S_1 and the surfaces of the stiffeners, from which lines (9) are subtracted. In this case, the conditions at the limits of the shell and the stiffening ribs take the form:

$$\begin{aligned}
&\left(\sigma_{rr}n_r+\sigma_{rz}n_z\right)\big|_S=0,\\
&\left(\sigma_{r\varphi}n_r+\sigma_{\varphi z}n_z\right)\big|_S=0,\\
&\left(\sigma_{rz}n_r+\sigma_{zz}n_z\right)\big|_S=0,
\end{aligned} \tag{17}$$

$$\left(\sigma_{rr}n_r + \sigma_{rz}n_z\right)\Big|_{S_2} = P_r\left(\varphi, z\right),$$
$$\left(\sigma_{r\varphi}n_r + \sigma_{\varphi z}n_z\right)\Big|_{S_2} = 0,$$
$$\left(\sigma_{rz}n_r + \sigma_{zz}n_z\right)\Big|_{S_2} = P_z\left(\varphi, z\right).$$

The limit conditions at the ends of the metal corrugated pipe will be expressed as follows:

$$\sigma_{rz}\Big|_{z=\pm l} = 0,\ \ \sigma_{\varphi z}\Big|_{z=\pm l} = 0,\ \ \sigma_{zz}\Big|_{z=\pm l} = 0, \tag{18}$$

where n_r, n_z – directing cosines of the vectors of unit external normals to the surfaces of considered bodies.

Surfaces S_1 correspond to value:

$$n_r = -\frac{1}{\Delta},\ \ n_z = \frac{\varepsilon a \cos az}{\Delta}, \tag{19}$$

and surfaces S_2 correspond to value:

$$n_r = \frac{1}{\Delta},\ \ n_z = -\frac{\varepsilon a \cos az}{\Delta}. \tag{20}$$

In formulas (19) and (20) the value Δ is determined according to the formula:

$$\Delta = \sqrt{1 + \left(\varepsilon a \cos az\right)^2}\ . \tag{21}$$

those parts of stiffeners surfaces, which are determined by the equation $r = r_0 + \sqrt{R^2 - \left(z - z_{0n}\right)^2}$, correspond to the following values:

$$n_r = \frac{\sqrt{R^2 - \left(z - z_{0n}\right)^2}}{R}, \tag{22}$$

$$n_z = \frac{z - z_{0n}}{R},$$

and parts of stiffeners surfaces, which are determined by the equation $r = r_0 - \sqrt{R^2 - \left(z - z_{0n}\right)^2}$, correspond to values:

$$n_r = -\frac{\sqrt{R^2 - \left(z - z_{0n}\right)^2}}{R}, \tag{23}$$

$$n_z = \frac{z - z_{0n}}{R}. \tag{24}$$

Next, according to the above method, we evaluate the stress-strain state of the construction with different design options to increase its load-bearing capacity and durability.

1.2.6. Analytical method for estimating the stress-strain state of a transport construction with MCSs reinforced with metal stiffening plates

The next design option to increase the load-bearing capacity and durability of constructions is shown in Fig. 2.

1.2.6.1. Mathematical formulation of the research problem

Let's consider an elastic corrugated cylindrical shell referred to the cylindrical coordinate system r, φ, z ($0 \le \varphi < 2\pi$). The cross section of this structure in the direction of z coordinate is shown in Fig. 6.

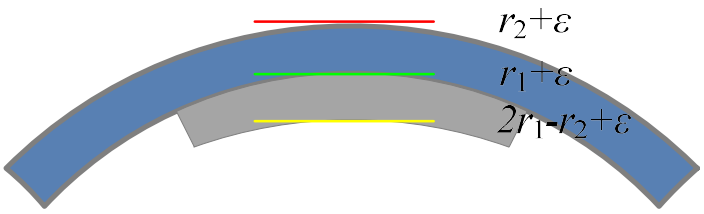


Figure 6. Diagram to describe the mathematical model of the corrugated shell reinforced with plate stiffeners

The inner S_1 and outer S_2 of the shell surface are described by equations (7) and (8), respectively.

The shell reinforced with stiffening plates, which occupy the areas:

$$(V_n)=\{(r,\varphi,z): 2r_1-r_2+\varepsilon \sin az \le r \le r_1+\varepsilon \sin az;\ 0\le\varphi<2\pi;\ z_{0n}-l_0 \le z \le z_{0n}+l_0\}\ (n=0,\pm1,\pm2,...), \quad (25)$$

where

$$z_{0n}=\frac{\pi}{a}\left(\frac{1}{2}+2n\right). \quad (26)$$

The considered shell is under the action of forces $P_r(\varphi, z)$, $P_z(\varphi, z)$ applied to the outer surface S_2. The inner surface S_1 and the reinforcing plates, except for areas

$$\left(\sum_n\right)=\{(r,\varphi,z): r=r_1+\varepsilon \sin az;\ 0\le\varphi<2\pi;\ z_{0n}-l_0 \le z \le z_{0n}+l_0\}\ (n=0,\pm1,\pm2,...) \quad (27)$$

are free from loads. The side surfaces $z=\pm l$ of the shell and the side surfaces $z=z_{0n}\pm l_0$ of the stiffening plates are also free from loads.

Let's assume that at the points of areas (27), the conditions of ideal mechanical contact of the shell with the reinforcing plates are fulfilled.

To determine the stress state of the bodies under consideration, we use the above equations and the relations of the theory of elasticity (12)–(14). In this case, the set S is the union of the surface S_1 and the inner surfaces of the reinforcing plates, from which the areas (27) are subtracted. The conditions on the side surfaces of the reinforcing plates are as follows:

$$\sigma_{rz}\Big|_{z=z_{0n}\pm l_0}=0,\ \ \sigma_{\varphi z}\Big|_{z=z_{0n}\pm l_0}=0,\ \ \sigma_{zz}\Big|_{z=z_{0n}\pm l_0}=0. \tag{28}$$

According to the conditions of the ideal mechanical contact of considered bodies, the values $\sigma_{rr}n_r+\sigma_{rz}n_z,\ \sigma_{r\varphi}n_r+\sigma_{\varphi z}n_z,\ \sigma_{rz}n_r+\sigma_{zz}n_z,\ u_r, u_\varphi, u_z$ at $r=r_1+\varepsilon\, sin\, az-0,\ z_{0n}-l_0\le z\le z_{0n}+l_0$ are equal to the values at $r=r_1+\varepsilon\, sin\, az+0,\ z_{0n}-l_0\le z\le z_{0n}+l_0$. The guide cosines n_r, n_z, which correspond to the surfaces of the reinforcing plates, are calculated in the same way as the guide cosines corresponding to the surfaces of the shell.

1.2.7. Analytical method for estimating the stress-strain state of a transport construction with MCSs under condition of double corrugation

1.2.7.1. Mathematical formulation of the research

Another design option is to strengthen the metal corrugated construction with an additional corrugated structure (Fig. 4). To do this, let's consider two elastic corrugated cylindrical shells A and B of equal length, referred to the cylindrical coordinate system r, φ, z $(0\le\varphi<2\pi)$. The cross section of this structure in the direction of z coordinate is shown in Fig. 7. The inner S_1 and outer S_2 of shell A surfaces, respectively, are described by the equations:

$$r=r_1+\varepsilon\, sin\, az\,; \tag{29}$$

$$r=r_2+\varepsilon\, sin\, az\,, \tag{30}$$

and inner S_3 and outer S_4 surfaces of shell B are described by the equations:

$$r=2\left(r_1-\varepsilon\right)-r_2-\varepsilon\, sin\, az\,; \tag{31}$$

$$r=r_1-2\varepsilon-\varepsilon\, sin\, az\,. \tag{32}$$

Along the lines

$$\begin{cases} r = r_1 - \varepsilon, \\ z = \dfrac{\pi}{a}\left(-\dfrac{1}{2} + 2n\right) \end{cases} \quad (n = 0, \pm 1, \ \pm 2, \ldots) \tag{33}$$

there is a mechanical contact of shells under consideration, which is regarded ideal.

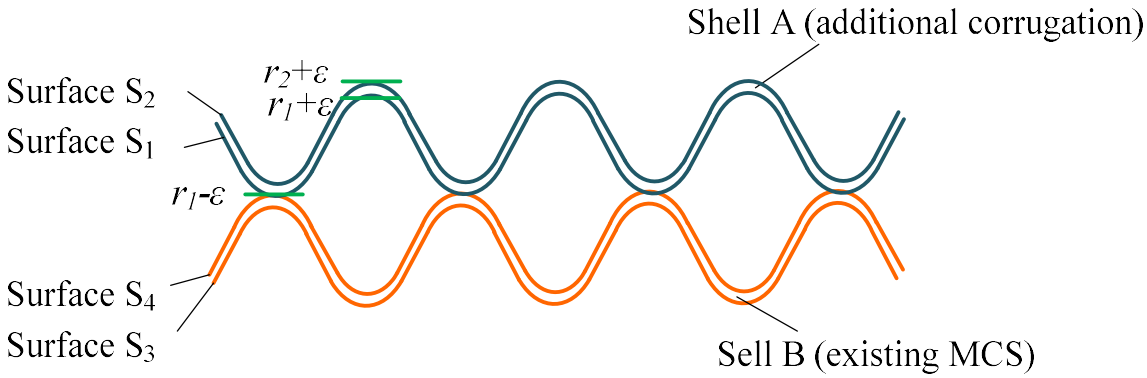


Figure 7. Scheme for the description of the mathematical model of double corrugation

Shell A is under the action of forces $P_r(\varphi, z)$, $P_z(\varphi, z)$ applied to the outer surface S_2. The inner surface S_1 of shell A and the outer surface S_4 of shell B, except for lines (33), are free from loads. The inner surface S_3 of shell B and side surfaces $z=\pm l$ of both shells are also free from loads.

To determine the stress state of the shells under consideration, we use the above equations and relations of the theory of elasticity (12)–(14). In this case, the set S is the union of surfaces S_1, S_3 and S_4, from which the lines (33) are subtracted.

According to the conditions of the ideal mechanical contact of shells A and B, the values σ_{rr}, $\sigma_{r\varphi}$, σ_{rz}, u_r, u_φ, u_z at $r = r_1 - \varepsilon - 0$, $z = \dfrac{\pi}{a}\left(-\dfrac{1}{2} + 2n\right)$ are equal to the values at $r = r_1 - \varepsilon + 0$, $z = \dfrac{\pi}{a}\left(-\dfrac{1}{2} + 2n\right)$. The guide cosines n_r, n_z, which correspond to surfaces S_1, S_2, are determined according to formulas (23)–(24). The following guide cosines correspond to S_3 surface:

$$n_r = -\frac{1}{\Delta}, \ n_z = -\frac{\varepsilon a \cos az}{\Delta}, \tag{34}$$

and the following values correspond to S_4 surface:

$$n_r = \frac{1}{\Delta},\ n_z = \frac{\varepsilon a \cos az}{\Delta}, \tag{35}$$

where

$$\Delta = \sqrt{1 + \left(\varepsilon a \cos az\right)^2}\,. \tag{36}$$

According to the above method of assessing the stress-strain state of transport constructions made of corrugated metal structures reinforced with the proposed stiffeners, we will assess the stress-strain state in the following sections of the work.

1.2.8. Comparative assessment of the stress-strain state of constructions with MCSs reinforced with the help of proposed design options

To study the effectiveness of the proposed design solutions with the aim to increase the load-bearing capacity of transport constructions made of corrugated metal structures, we will take, as a basis, the design of the construction for the railway and highway of the first category in Kropyvnytskyi city. According to electronic source [15], the horizontal diameter of the construction is 9,23 m, and the vertical one is 8,12 m (Fig. 8).

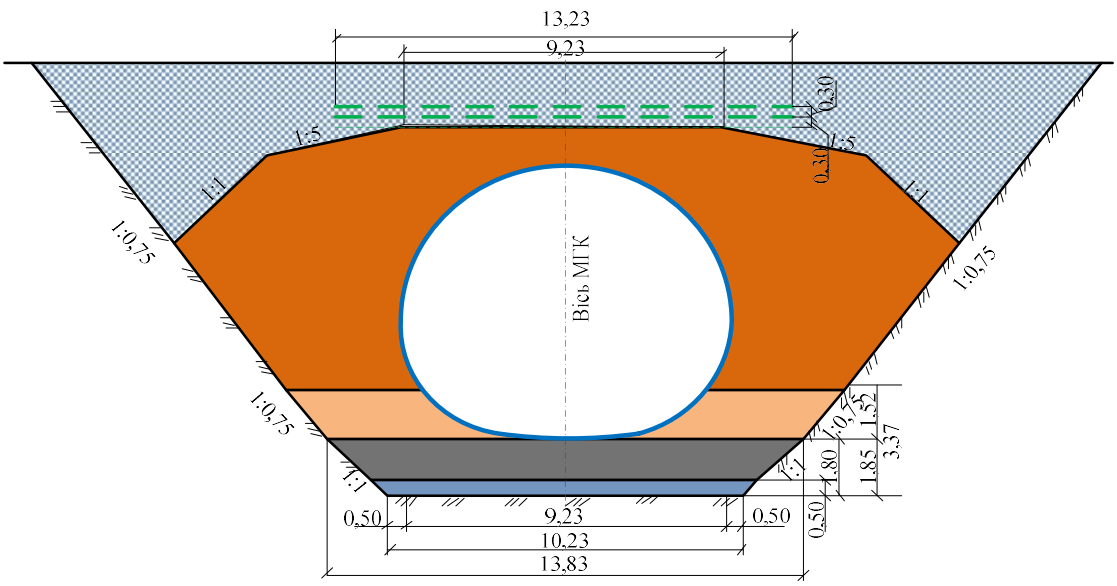


Figure 8. Cross section of the investigated construction with MCSs in Kropyvnytskyi city [15]

Metal sheets of the underpass are made of corrugated structures with wavelength and height of corrugation 380 x 140 mm and thickness of 6 mm (Fig. 9). The modulus of elasticity of the metal pipe is E=2,1·10^5 MPa, and Poisson's ratio is ν=0,25.

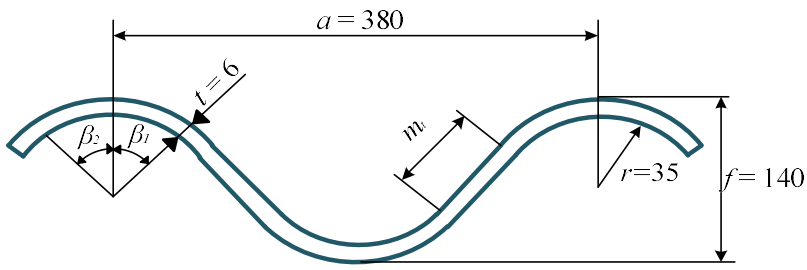


Figure 9. Geometrical parameters of the corrugated metal sheet

Physical and mechanical characteristics of the round stiffening rib and the reinforcing plate were taken as follows: modulus of elasticity – E=2,1·10^5 MPa and Poisson's ratio of the construction material – ν=0,25.

Soil with the following physical and mechanical parameters was used as a backfill: bulk density – ρ=1,9 t/m^3, specific gravity – ρ_s=2,65 t/m^3, bulk density of soil – γ_{cv}=19,0 kN/m^3, soil moisture – W_n=3 % and the angle of internal friction – $\varphi_{cv,k}$ =41,9 degrees. The degree of soil compaction is 0,98, and the modulus of elasticity is $E_{гр.}$=24,0 MPa. The height of the backfill above the vault of the corrugated metal structure of the underpass is 2,57 m.

The load from the own weight of the backfill soil, as well as the load from locomotive 2M62 are taken as the load. The results of equivalent forces arising from locomotive 2M62 are shown in Fig. 10.

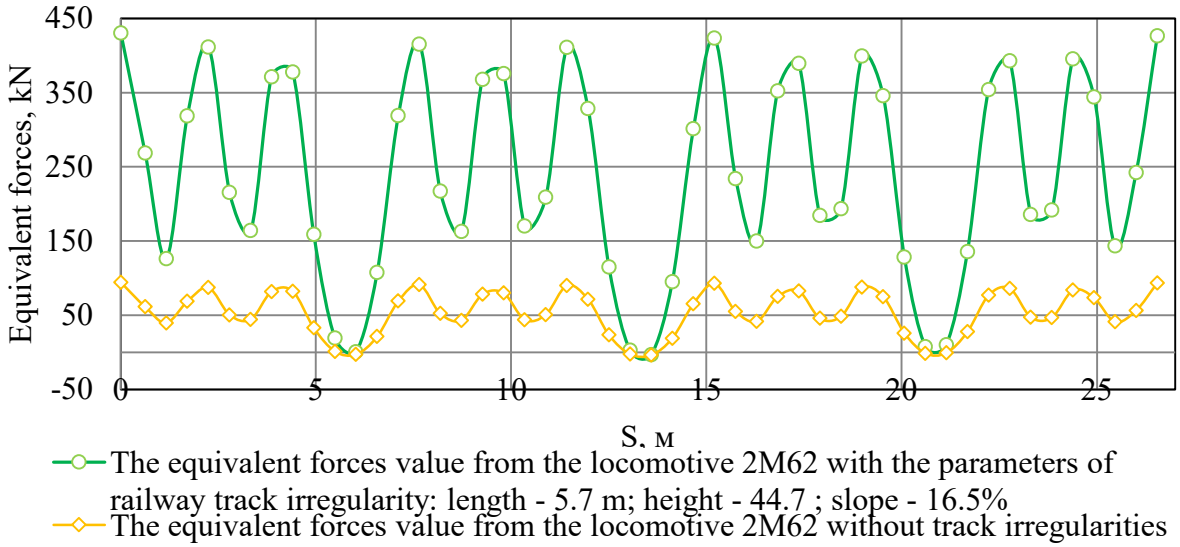


Figure 10. Distribution of equivalent forces from locomotive 2M62 at the value of the modulus of elasticity of an underrail base 92,1 MPa

The distribution of loads on sleepers along the track was obtained from the track calculations for strength [26] at the value of the modulus of elasticity of the underrail base equal to 92,1 MPa, and the geometrical unevenness formed during operation of the corrugated metal structure. The maximum value of the equivalent force is 423,6 kN.

According to the obtained values of equivalent forces, we will evaluate the operational reliability of the design solutions made to increase the bearing capacity of a transport construction made of corrugated metal structures.

The calculation of the stress-strain state of the proposed design solutions to increase the load-bearing capacity of constructions with MCSs was performed by finite element modelling in licensed software Femap NX Nastran, in accordance with the recommendations given in [27–39].

1.2.8.1. Investigation of the influence of corrugated sheet thickness on increasing the bearing capacity of a transport construction made of corrugated metal structures

Evaluation of the bearing capacity of a construction is carried out at metal corrugated sheet thickness 2 to 10 mm with a step of 2 mm.

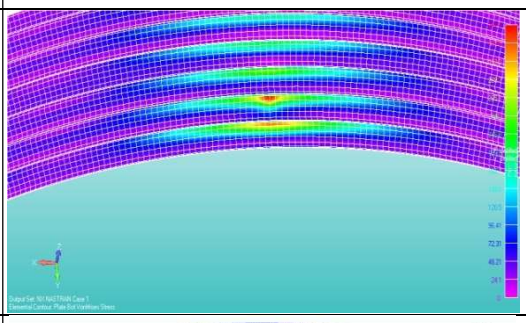
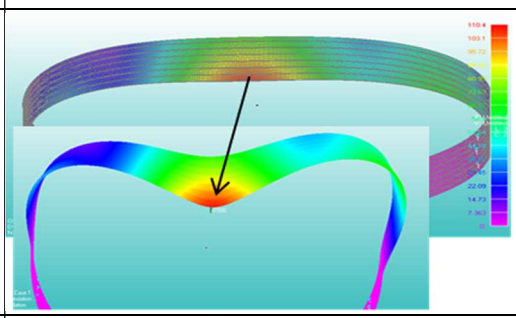
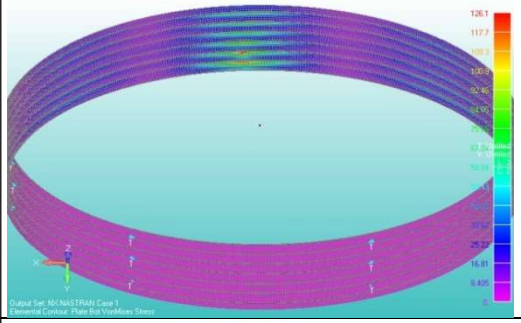
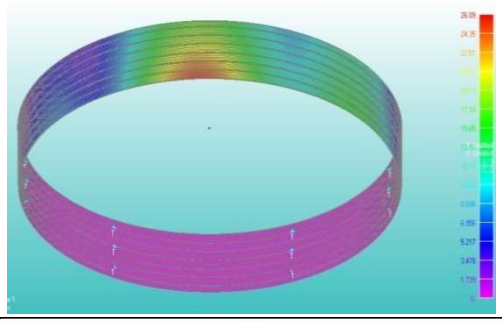
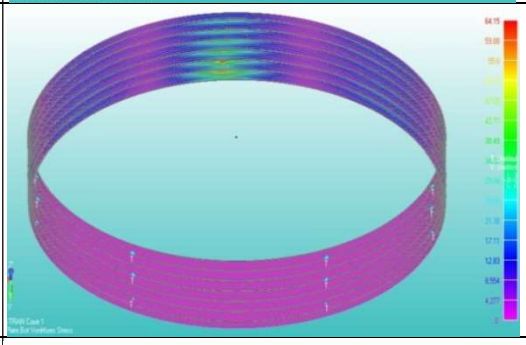
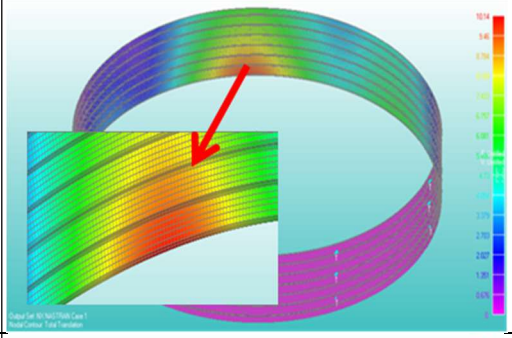
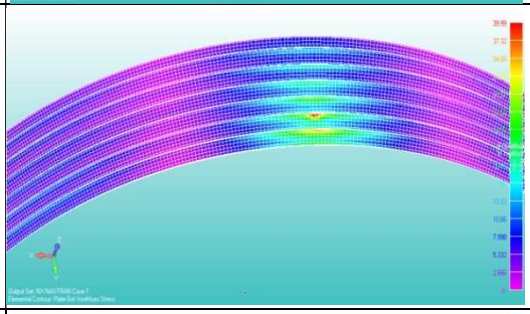
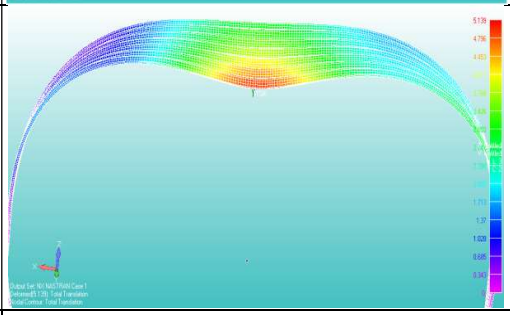
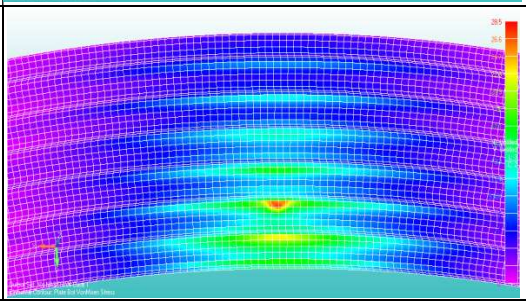
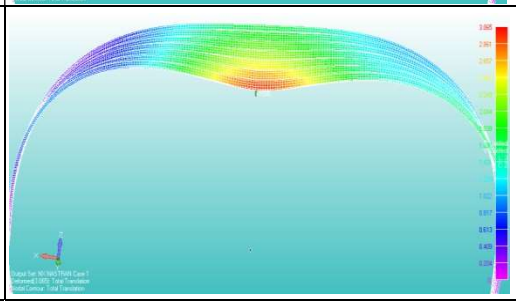
The developed finite element model consists of 39,504 elements, which are connected by 40,294 nodes. The simulation results in the form of stress and strain distribution that occur in the metal sheets of the construction are given in table 1.

As can be seen from table 1, the maximum stresses and strains occur in the vault of the structure. Thus, when the thickness of a metal corrugated sheet is 2 mm, the strain is 110,4 mm; at sheet thickness of 4 mm – 26,09 mm; at sheet thickness of 6 mm – 10,14 mm; at sheet thickness of 8 mm – 5,14 mm and at sheet thickness of 10 mm – 3,06 mm.

The stresses that occur when the thickness of a metal corrugated sheet is 2 mm are 361.6 MPa; at sheet thickness of 4 mm – 126,1 MPa; at sheet thickness of 6 mm – 64,15 MPa; at sheet thickness of 8 mm – 39,99 MPa and at sheet thickness of 10 mm – 28,5 MPa.

Table 1

Stress-Strain State of MCS Depending on the Thickness of a Metal Corrugated Sheet of the Construction

Thickness of a metal corrugated sheet *t*, mm	Stress, MPa	Strain, mm
2 mm		
4 mm		
6 mm		
8 mm		
10 mm		

Thus, the thickness of a corrugated sheet has a significant effect on the stress distribution in the construction. With increasing sheet thickness, the stresses decrease, the dependence of stresses on the thickness of a corrugated sheet is nonlinear (Fig. 11).

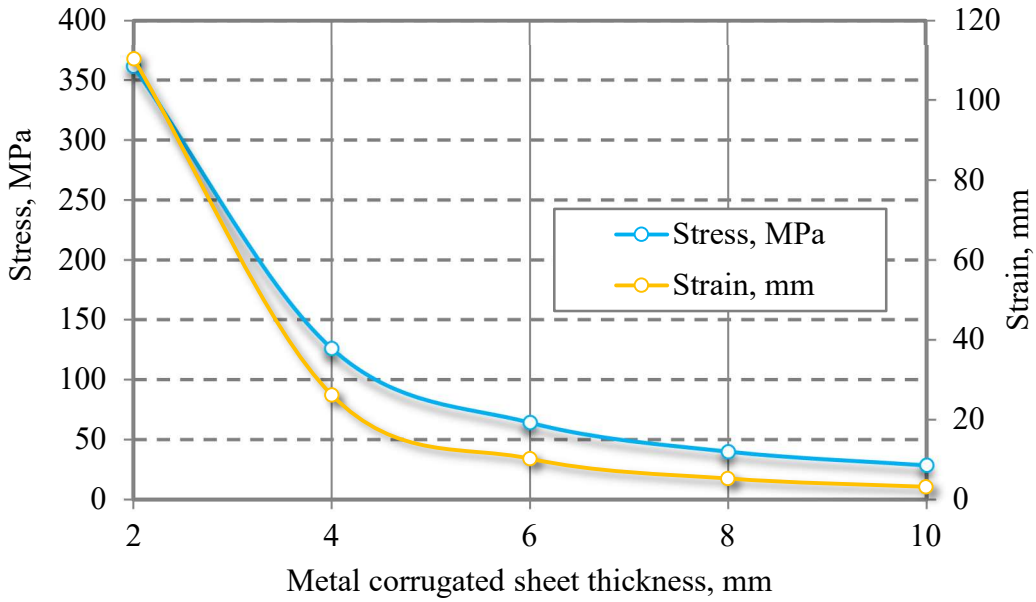


Figure 11. Dependence of stresses and strains on the thickness of a metal sheet

It is established that when the thickness of a corrugated sheet increases 5 times, the stresses decrease 13 times.

1.2.8.2. Stress-strain state of a corrugated metal structure reinforced with stiffeners

Let's consider the option of a metal corrugated pipe reinforcing at wall thickness of 6 mm with a round rod of 16 mm diameter, which is installed in the sinuses of the corrugated structure. The finite element model consists of 453,917 nodes and 146,586 finite elements (Fig. 12).

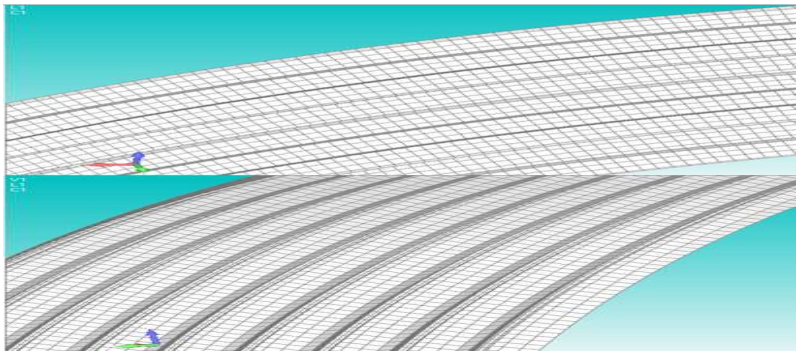
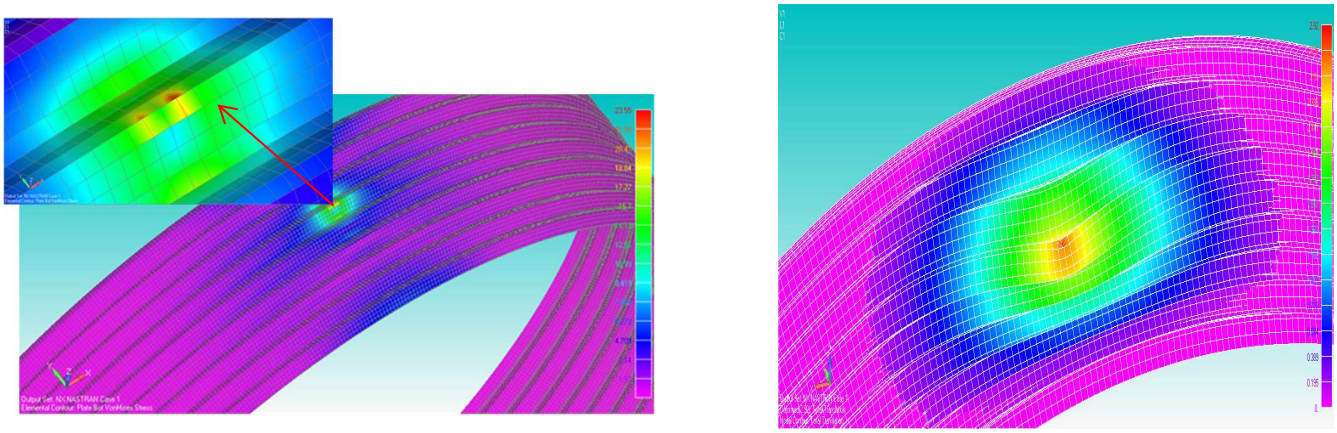


Figure 12. Finite element model

The results of stress and strain distribution in the underpass construction are shown in Fig. 13.

When reinforcing a metal corrugated structure with installing additional stiffeners at corrugated sheet thickness of 6 mm, there is a decrease in stresses in the structure compared to the structure without stiffeners. The maximum stresses that occur in the wall of a MCS, when using round stiffeners are 23,55 MPa, and the maximum strain – 2,92 mm. In the case of strengthening the structure with stiffening plates, the maximum stress is 23,21 MPa, and the maximum strain is 2,07 mm.



a *b*

Figure 13. Stress-strain state of a transport construction with MCS when installing additional stiffeners: a – stress distribution; b – strain distribution

1.2.8.3. Estimation of the bearing capacity of a metal corrugated structure at double corrugation

The finite element model of a metal corrugated structure reinforced with double corrugation is shown in Fig. 14. The model consists of 413,946 nodes and 410,800 finite elements.

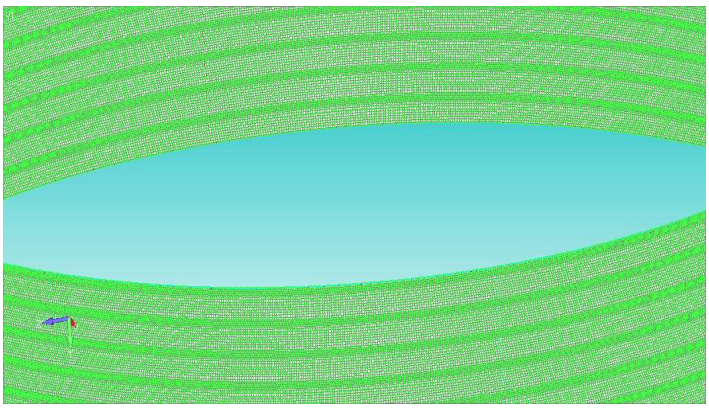
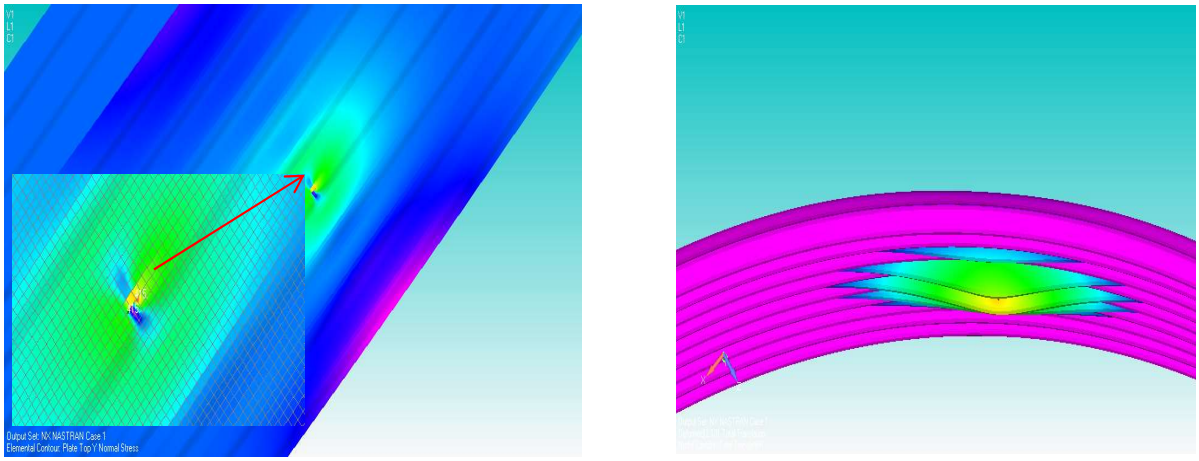


Figure 14. Finite element model of MCS with double corrugation

The results of Mises stresses distribution in a metal corrugated construction reinforced with double corrugation are shown in Fig. 15.



a *b*

Figure 15. Stress-strain state of the transport construction made of MCSs with double corrugation:a – stresses distribution; b – strains distribution

As can be seen from Fig. 15, the maximum stresses that occur in metal sheets of the construction with double corrugation are 23,44 MPa, and the maximum strain in the vault of the construction – 2,13 mm.

The results of the calculation of stresses in the structure with double corrugation at additional stiffeners use, which occur in the sheets of the construction, showed that the stresses are less than the allowable value of 235 MPa.

1.2.8.4. Calculation results comparison of the stress-strain state of transport constructions reinforced with additional elements

The results of the calculation of the stress-strain state of the MCSs depending on the design option of structural reinforcement are given in table 2.

The calculation of the bearing capacity of the construction in the case of pipe corrugation with its thickness of 6 mm showed that the stress is 64,15 MPa, and in the absence of corrugation at the same thickness of the structure – 286 MPa. Thus, corrugation increases the bearing capacity of the metal structure by 4,5 times.

The calculations show that the lowest stresses and strains occur in the design options where MCS bearing capacity is increased by double corrugation and additional stiffeners installation. The stresses that occur in the sheets during double corrugation

are 23,44 MPa, and strains – 2,13 mm. In the case of stiffeners installation in the form of round rod with diameter of 16 mm, the stress is 23,55 MPa, and the strain is 2,92 mm. When using stiffeners in the form of plates, the stress is 23,21 MPa, and the strain is 2,07 mm.

Table 2
Comparison of Stress-strain States of Proposed Methods of MCS Bearing Capacity Increase

№	Option of MCS bearing capacity increase	Stress σ, MPa	Strain ε, mm
1	Without sheet corrugation at thickness 6 mm	286	–
2	Sheet thickness 2 mm	361,6	110,4
3	Sheet thickness 4 mm	126,1	26,09
4	Sheet thickness 6 mm	64,15	10,14
5	Sheet thickness 8 mm	39,99	5,14
6	Sheet thickness 10 mm	28,5	3,06
7	Round rod stiffening	23,55	2,92
8	Plate stiffening	23,21	2,07
9	Double corrugation	23,44	2,13

At this level of loads on the transport construction with metal structure of 6 mm thickness and absence of corrugation as well as in the metal corrugated structure of 2 mm thickness, stresses exceed the allowable limit of metal elasticity 235 MPa.

In other design options, the stresses in the cross sections of MCSs in relation to the basic technical solution are reduced and do not exceed the yield strength of steel, thus, each of the proposed solutions is efficient in terms of preventing the transition of metal to plastic state.

However, the proposed design options require increased economic costs and complexity of work. To establish the most profitable and optimal design solution, it is necessary to conduct a feasibility study.

1.2.9. Technical and economical evaluation of design solutions efficiency to increase the bearing capacity of metal corrugated structures

To assess the effectiveness of the proposed design solutions, it is proposed to use a comprehensive efficiency index, which takes into account the technical characteristics of the proposed options for strengthening the construction with MCSs and economic components determined by the formula:

$$e = \sigma_e + E_e, \tag{37}$$

where: σ_e – technical index of design solution efficiency which considers maximum stresses; E_e – factor that takes into account the cost of the basic technical solution, the increase of the volume of construction and installation work and their cost.

The integrated approach provides the ability to take into account a number of factors that influence the effectiveness of the proposed technical solution. The following factors can be distinguished: change in the cost of building materials; increase in the cost of construction due to the use of additional materials; increase in labour intensity caused by additional volumes of construction and installation work during reinforcement, etc.

The technical index according to maximum stresses is calculated by the ratio of allowable stresses that do not exceed the elastic limit of the metal structure to the maximum stresses obtained in the calculation of the proposed design solution:

$$\sigma_e = \frac{[\sigma]}{\sigma_{max}}, \tag{38}$$

where: σ_{max} – maximum stress obtained at a specific design solution to increase the bearing capacity of the MCS; $[\sigma]$ – the allowable value of metal elasticity of the MCS; it is 235 MPa for steel St3ps.

The coefficient, which takes into account the cost of the basic technical solution, the increase in the volume of construction and installation work and their cost, is determined by the formula:

$$E_e = \frac{K}{K + k}, \tag{39}$$

where: K – cost of metal structures of the basic technical solution, thousand UAH; k – cost of additional materials for reinforcement of constructions with MCSы, thousand UAH.

Determination of the coefficient increase in the cost of the construction E_e is carried out in accordance with the average cost of structures and materials of domestic MCSs manufacturers. The cost of materials is given in table 3. The increase in costs due to additional reinforcement of the construction with MCSs, is taken equal to 7050

UAH/t at sheet thickness of 1 mm.

Table 3

Technical and Economical Indices of Proposed Design Solutions

Technical solution	Metal thickness, mm	σ_{max}, MPa	σ_e	K, UAH	k, UAH	E_e	e
Without sheet corrugation at thickness 6 mm	6	286	0,82	6700	-	1,0	1,82
Sheet thickness 2 mm	2	361,6	0,64	14150	-	1,0	1,64
Sheet thickness 4 mm	4	126,1	1,86	28300	-	1,0	2,86
Sheet thickness 6 mm	6	64,15	3,66	42450	-	1,0	4,66
Sheet thickness 8 mm	8	39,99	5,88	56600	-	1,0	6,88
Sheet thickness 10 mm	10	28,5	8,25	70750	-	1,0	9,25
Reinforced with round rod	6	23,55	9,98	42450	847,27	0,98	10,96
Reinforced with additional plate	-	23,21	10,12	42450	3500	0,92	11,04
Double corrugation	6	23,44	10,03	42450	4245	0,91	10,94

When reinforcing structures with additional stiffeners in the form of round rods are used, the efficiency is 10,96, when using stiffeners in the form of a reinforcing plate, the efficiency is 11,04 and with double corrugation –10,94.

The most effective technical and economic options for increasing the bearing capacity of MCSs are structural options for strengthening the metal corrugated structure by installing stiffeners and double corrugation. These design options provide high load-bearing capacity of MCSs and are, at the same time, the best options in terms of price/quality.

DOI 10.46299/ISG.2021.MONO.TECH.II-49-143

1.3 Розрахунок паль на дію поперечних навантажень

1.3.1 Вигин палі в пружньому середовищі

1.3.1.1. Застосування моделі Б.Н. Жемочкіна до розрахунку поперечно навантаженої палі при нелінійному розподілі жорсткості грунту по глибині занурення

Аналітичний метод розрахунку палі, зануреної в однорідну або багатошарову основу з нелінійним розподілом коефіцієнта жорсткості пов'язаний з великими математичними труднощами.

Як приклад розглянемо рішення при експоненційному розподілі коефіцієнта постелі уздовж осі палі (Мал. 1):

$$C_z = C_0 \cdot \left(1 - e^{-\bar{a} \cdot z}\right) = C_0 \cdot \left(1 - e^{-a \cdot \bar{z}}\right), \qquad (1)$$

де C_z - коефіцієнт постелі в даному перетині палі, $тс/м^3$;

C_0 - деяка постійна величина коефіцієнта постелі на глибині $z \geq H$, $тс/м^3$;

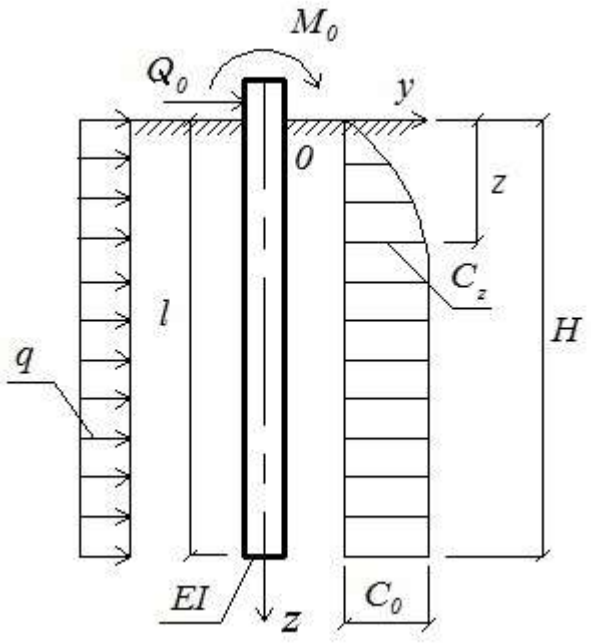
a - параметр, що характеризує швидкість наростання жорсткості основи, причому $a>0$;

l - довжина заглибленої частини палі, м;

z - відстань від поверхні грунту до даного перетину палі, м;

$\bar{z}$ - наведена (безрозмірна) глибина поперечного перерізу палі:

$$\bar{a} \cdot z = \frac{a}{l} \cdot z = a \cdot \frac{z}{l} = a \cdot \bar{z}.$$



Малюнок 1. Розрахункова схема палі і епюра зміни коефіцієнта постелі

Диференціальне рівняння зігнутої осі палі при C_z, змінюється за законом (1), має вигляд:

$$EI \cdot \frac{d^4 y}{dz^4} + C_0 \cdot \left(1 - e^{-\bar{a} \cdot z}\right) \cdot y = 0. \qquad (2)$$

Запишемо (2) у вигляді:

$$EI \cdot y^{IV} = C_0 \cdot \left[e^{-\bar{a} \cdot z} - 1\right] \cdot y. \qquad (3)$$

Диференціюючи за формулою Лейбніца рівняння (3) n раз, отримаємо наступне рекурентне співвідношення:

$$\begin{aligned} y^{(n)} = {} & (-1)^n \cdot u^{n-4} \cdot C_0 \cdot e^{-\bar{a} \cdot z} \cdot y^{(0)} \cdot u_{n_0} + \\ & + \sum_{i=0}^{n-5} (-1)^{n+i+1} \cdot (u_{n-1,i} + u_{n-1,n+1}) \cdot \bar{a}^{\,n-5-i} \cdot C_0 \cdot e^{-\bar{a} \cdot z} \cdot y^{(i+1)} \cdot \delta_i + \\ & + C_0 \cdot (e^{-\bar{a} \cdot z} - 1) \cdot y^{(n-4)}, \end{aligned} \qquad (2.4)$$

де u_{ni} - числовий коефіцієнт в n похідною, і-тий по порядку, при цьому $u_{n_0} = 1$;

δ_i - безрозмірний коефіцієнт;

$$\delta_i = 1 \text{ при } i = 0; 1 \ldots n-6; \ \delta_i = 0 \text{ при } i = n-5.$$

Ця формула дає можливість послідовно обчислювати будь-яку похідну функції y (3), маючи в своєму розпорядженні значеннями величин при z = 0:

$$\left.\begin{aligned} y &= y_0; \\ y_0' &= \varphi_0; \\ y_0'' &= \frac{M_0}{EI}; \\ y_0''' &= \frac{Q_0}{EI}; \\ y_0^{(4)} &= 0; \end{aligned}\right\}, \qquad (5)$$

де y_0 , φ_0 , M_0 і Q_0 - відповідно прогин, кут повороту, згинальний момент і поперечна сила в 0-вої точці палі (Мал. 1).

Підставляючи значення похідних, визначених за формулами (4) і (5), в ряд Тейлора, отримуємо, приймаючи необхідні скорочення:

$$y_{\bar{z}} = y_0 \cdot A_1 + \frac{\varphi_0}{\bar{a}} \cdot B_1 + \frac{M_0}{\bar{a}^2 \cdot EI} \cdot C_1 + \frac{Q_0}{\bar{a}^3 \cdot EI} \cdot D_1, \qquad (6)$$

$$\left.\begin{aligned} A_1 &= 1 + \gamma\left(-\frac{\bar{z}^5}{5!} + \frac{\bar{z}^6}{6!} - \frac{\bar{z}^7}{7!} + \frac{\bar{z}^8}{8!} - \ldots\right) + \gamma^2\left(\frac{6\bar{z}^{10}}{10!} - \frac{28\bar{z}^{11}}{11!} + \frac{92\bar{z}^{12}}{12!} - \ldots\right) + \ldots \\ B_1 &= \bar{z} + \gamma\left(-\frac{2\bar{z}^6}{6!} + \frac{3\bar{z}^7}{7!} - \frac{4\bar{z}^8}{8!} + \ldots\right) + \gamma^2\left(\frac{2\bar{z}^{11}}{11!} - \frac{80\bar{z}^{12}}{12!} + \frac{312 \cdot \bar{z}^{13}}{13!} - \ldots\right) + \ldots \\ C_1 &= \frac{\bar{z}^2}{2!} + \gamma\left(-\frac{3\bar{z}^7}{7!} + \frac{6\bar{z}^8}{8!} - \frac{10\bar{z}^9}{9!} + \ldots\right) + \gamma^2\left(\frac{24\bar{z}^{12}}{12!} - \frac{162\bar{z}^{13}}{13!} + \frac{730\bar{z}^{14}}{14!} - \ldots\right) + \ldots \\ D_1 &= \frac{\bar{z}^3}{3!} + \gamma\left(-\frac{4\bar{z}^8}{8!} + \frac{10\bar{z}^9}{9!} - \frac{20\bar{z}^{10}}{10!} + \ldots\right) + \gamma^2\left(\frac{36\bar{z}^{13}}{13!} - \frac{1280\bar{z}^{14}}{14!} + \frac{1430\bar{z}^{15}}{15!} - \ldots\right) + \ldots \end{aligned}\right\},$$

(7)

де

$$\gamma = \frac{K \cdot b}{EI \cdot \bar{a}^4}.$$

Диференціюючи послідовно рівняння (6), отримуємо остаточно:

$$\left.\begin{aligned}
y_{\bar z} &= y_0 \cdot A_1^{\bar z} + \frac{\varphi_0}{\bar a} \cdot B_1^{\bar z} + \frac{M_0}{\bar a^2 \cdot EI} \cdot C_1^{\bar z} + \frac{Q_0}{\bar a^3 \cdot EI} \cdot D_1^{\bar z} \\
\frac{\varphi_{\bar z}}{\bar a} &= y_0 \cdot A_2^{\bar z} + \frac{\varphi_0}{\bar a} \cdot B_2^{\bar z} + \frac{M_0}{\bar a^2 \cdot EI} \cdot C_2^{\bar z} + \frac{Q_0}{\bar a^3 \cdot EI} \cdot D_2^{\bar z} \\
\frac{M_{\bar z}}{\bar a^2 \cdot EI} &= y_0 \cdot A_3^{\bar z} + \frac{\varphi_0}{\bar a} \cdot B_3^{\bar z} + \frac{M_0}{\bar a^2 \cdot EI} \cdot C_3^{\bar z} + \frac{Q_0}{\bar a^3 \cdot EI} \cdot D_3^{\bar z} \\
\frac{Q_{\bar z}}{\bar a^3 \cdot EI} &= y_0 \cdot A_4^{\bar z} + \frac{\varphi_0}{\bar a} \cdot B_4^{\bar z} + \frac{M_0}{\bar a^2 \cdot EI} \cdot C_4^{\bar z} + \frac{Q_0}{\bar a^3 \cdot EI} \cdot D_4^{\bar z}
\end{aligned}\right\}, \qquad (8)$$

де $y_{\bar z}$, $\varphi_{\bar z}$, $M_{\bar z}$ і $Q_{\bar z}$ - горизонтальне переміщення, кут повороту, згинальний момент і поперечна сила відповідно для довільного перетину з координатою $\bar z = \frac{z}{l}$..

Значення функцій A_i, B_i, C_i і D_i при і = 2; 3; 4 отримуємо шляхом послідовного диференціювання A_1, B_1, C_1 і D_1.

Отримана система рівнянь (8) дозволяє вирішувати завдання з різними граничними умовами.

Розглядаючи рівняння (6) як ряд Тейлора, необхідно відзначити, що починаючи з якоїсь величини порядку многочлена n, при високих значеннях $\bar z$ ряд Тейлора «практично сходиться», що може спричинити за собою похибки в розрахунку. Математичний зміст цього визначення описаний Мишкіс А.Д.

Таким чином, найбільш проста і зручна в рішенні поставленого завдання виявляється схема Б.Н. Жемочкіна [40].

Порядок розрахунку полягає в наступному. палю довжиною l розбиваємо на рівні ділянки; в серединах яких ставимо жорсткі опорні стрижні, що забезпечують контакт палі з грунтом (Мал.2). Навантаження на підставу від кожного стержня приймається рівномірно розподіленим по площі $b \cdot \lambda$, де b - ширина палі і λ - відстань між стрижнями.

При довільному розподілі коефіцієнта постелі по довжині палі в пружною стадії використовується змішаний метод вирішення (Мал. 2), при якому

приймаються умови рівності нулю суми переміщень у напрямку кожного невідомого X_k:

$$X_0 \cdot \delta_{k0} + X_1 \cdot \delta_{k1} + X_2 \cdot \delta_{k2} + ... + X_k \cdot \delta_{kk} + ... + X_n \cdot \delta_{kn} - \omega_0 - a_K \cdot \varphi_0 + \Delta_{kp} = 0. \quad (9)$$

Крім того, використовуються два рівняння рівноваги. Одне описує умову рівності нулю суми моментів всіх сил щодо точки 0, а друге - рівність нулю суми проекцій всіх сил на вісь, паралельну цим силам

$$\left.\begin{aligned} X_0 + X_1 + X_2 + ... + X_k + ... + X_n - \sum Q = 0\,; \\ X_0 \cdot a_0 + X_1 \cdot a_1 + X_2 \cdot a_2 + ... + X_k \cdot a_k + ... + X_n \cdot a_n - \sum M = 0\,. \end{aligned}\right\}. \quad (10)$$

Поодинокі переміщення по напрямку *К* від невідомих реактивних сил X_i визначаються як сума деформації основи V_k в точці *К* і горизонтальних переміщень, викликаних вигином палі ω_{ki}:

$$\left.\begin{aligned} \delta_{ki} = V_{kk} + w_{ki}, \quad (\text{при } k = i); \\ \delta_{ki} = w_{ki}, \qquad (\text{при } k \neq i), \end{aligned}\right\}, \quad (11)$$

де w_{ki} - функції Б.Н. Жемочкіна [40], рівні

$$w_{ki} = \frac{\lambda^3}{6 \cdot EI} \cdot \overline{\omega_{ki}}, \quad (12)$$

де $\overline{\omega_{ki}}$ - поодинокі деформації палі в точці К від сили X_k, затабульовані в і рівні

$$\overline{\omega_{ki}} = \left(\frac{a_k}{\lambda}\right)^2 \cdot \left(3 \cdot \frac{a_i}{\lambda} - \frac{a_k}{\lambda}\right), \quad (13)$$

де λ - крок опорних стрижнів, м;

a_i - відстань від умовного защемлення до стрижня i, М.

Осадка основи в точці K викликана тільки реактивної силою X_k, а тому одиничне переміщення постелі $\overline{V_{kk}}$ дорівнює

$$\overline{V_{kk}} = \frac{1}{\lambda \cdot b \cdot C_k}, \quad (14)$$

де b - ширина перерізу палі (балки), м;

C_k - коефіцієнт жорсткості в точці K, Тс / м3.

Тому першу рівність (11) можна записати у вигляді

$$\delta_{kk} = \frac{\lambda^3}{6 \cdot EI} \cdot \left(\gamma_k + \overline{\omega_{kk}}\right), \tag{15}$$

де

$$\gamma_k = \frac{6 \cdot EI}{b \cdot C_k \cdot \lambda^4}. \tag{16}$$

Вантажні переміщення від зовнішніх сил представимо у вигляді

$$\Delta_{kp} = \frac{\lambda^3}{6 \cdot EI} \cdot Q_0 \cdot \overline{w_{ki}}. \tag{17}$$

Тоді система канонічних рівнянь запишеться в такий спосіб

$$A \cdot \begin{vmatrix} X_0 \\ X_1 \\ \dots \\ X_n \\ \omega_0 \\ \varphi_0' \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} -\Delta_{0p} \\ -\Delta_{1p} \\ \dots \\ -\Delta_{np} \\ \sum Q \\ \sum M/\lambda \end{vmatrix}, \tag{18}$$

де А - квадратна матриця:

$$A = \begin{vmatrix} \delta_{00} & \delta_{01} & \dots & \delta_{0n} & 1 & a_0 \\ \delta_{11} & \delta_{12} & \dots & \delta_{1n} & 1 & a_1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \delta_{n0} & \delta_{n1} & \dots & \delta_{nn} & 1 & a_n \\ 1 & 1 & \dots & 1 & 0 & 0 \\ a_0 & a_1 & \dots & a_n & 0 & 0 \end{vmatrix}, \tag{19}$$

відзначимо, що отримуються з рішення системи (19) значення ω_0 і φ_0' збільшені в $\frac{6 \cdot EI}{\lambda^3}$ раз.

1.3.1.1.1. Комплексна розрахункова модель №1

Запишемо закономірність зміни коефіцієнта постелі уздовж осі палі наступним чином (Мал. 2):

$$C_z = C_n + C_0 \cdot \left(\frac{z}{l}\right)^{\alpha}, \qquad (20)$$

де C_n - коефіцієнт постелі (жорсткості) на рівні поверхні грунту, $тс/м^3$;

C_0 - коефіцієнт постелі на глибині l, $тс/м^3$;

C_z - коефіцієнт постелі на довільній глибині z, $тс/м^3$;

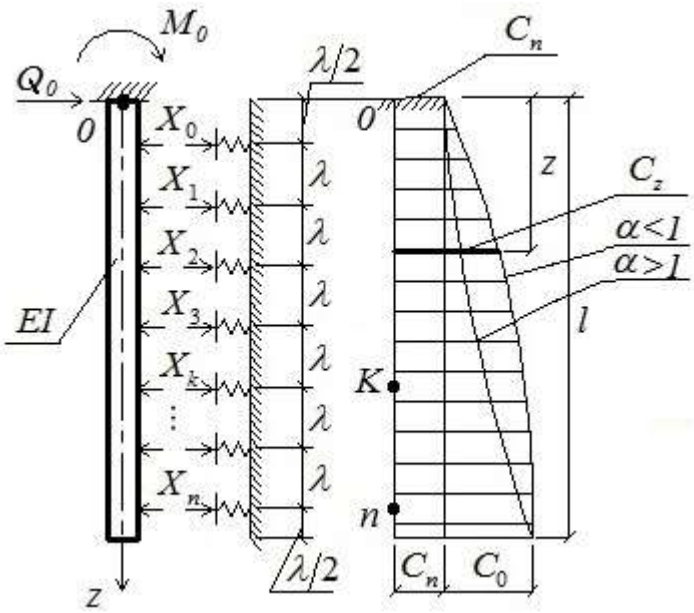
α - розрахунковий параметр, що характеризує пружно-пластичні властивості грунту, причому $a>0$;

l - довжина заглибленої частини палі, м;

z - відстань від поверхні грунту до даного перетину палі, м.

Вираз (20) можна записати у вигляді

$$C_z = C_0 \cdot \left[\frac{C_n}{C_0} + \left(\frac{z}{l}\right)^{\alpha}\right]. \qquad (20\text{-}1)$$



Малюнок 2. Основна система і епюра коефіцієнта постелі C_z комплексної моделі № 1

Прийнявши такі позначення

$$\frac{C_n}{C_0} = \overline{C_n}; \qquad \frac{z}{l} = \bar{z}; \qquad \lambda = \frac{l}{n}, \qquad (21)$$

запишемо за методом Б.М. Жемочкіна поодинокі переміщення по напрямку До від невідомих реактивних сил X_i , Які визначаються як сума опади підстави V_k в точці K і переміщень (прогинів), викликаних вигином палі ω_{kk}, З урахуванням розрахункової ширини b_p

$$\delta_{kk} = \frac{\lambda^3}{6 \cdot EI} \cdot \overline{\omega_{kk}} + \frac{1}{\lambda \cdot b_p \cdot C_0 \cdot \left(\overline{C_n} + \overline{z_k^\alpha}\right)}, \tag{22}$$

що приводиться до вигляду

$$\delta_{kk} = \frac{\lambda^3}{6 \cdot EI} \cdot \left[\overline{\omega_{kk}} + \frac{6 \cdot EI}{\lambda^4 \cdot b_p \cdot C_0 \cdot \left(\overline{C_n} + \overline{z_k^\alpha}\right)}\right]. \tag{23}$$

Запишемо другий член виразу (23)

$$\frac{6 \cdot EI}{\lambda^4 \cdot b_p \cdot C_0 \cdot \left(\overline{C_n} + \overline{z_k^\alpha}\right)} = \frac{6}{\lambda^4 \cdot \beta_д^4} \cdot \frac{1}{\overline{C_n} + \overline{z_k^\alpha}}, \tag{24}$$

де

$$\beta_д = \sqrt[4]{\frac{C_0 \cdot b_p}{EI}};. \tag{25}$$

$$\overline{z_k^\alpha} = \left(\frac{z}{l}\right)^\alpha = \left(\frac{k \cdot \lambda}{n \cdot \lambda}\right)^\alpha = \left(\frac{k}{n}\right)^\alpha; \tag{26}$$

$$\overline{l_\beta} = l \cdot \beta_д. \tag{27}$$

З (24), з урахуванням (25), (26), (27), знайдемо

$$\frac{6}{\lambda^4 \cdot \beta_д^4 \cdot \left(\overline{C_n} + \overline{z_k^\alpha}\right)} = \frac{6 \cdot n^4}{l^4 \cdot \beta_д^4} \cdot \frac{n^\alpha}{\overline{C_n} \cdot n^\alpha + k^\alpha} = \frac{6 \cdot n^{(4+\alpha)}}{\overline{l_\beta^4} \cdot \left(\overline{C_n} \cdot n^\alpha + k^\alpha\right)}. \tag{28}$$

отже

$$\delta_{kk} = \frac{\lambda^3}{6 \cdot EI} \cdot \left[\overline{\omega_{kk}} + \frac{6 \cdot n^{(4+\alpha)}}{\overline{l_\beta^4} \cdot \left(\overline{C_n} \cdot n^\alpha + k^\alpha\right)}\right], \tag{29}$$

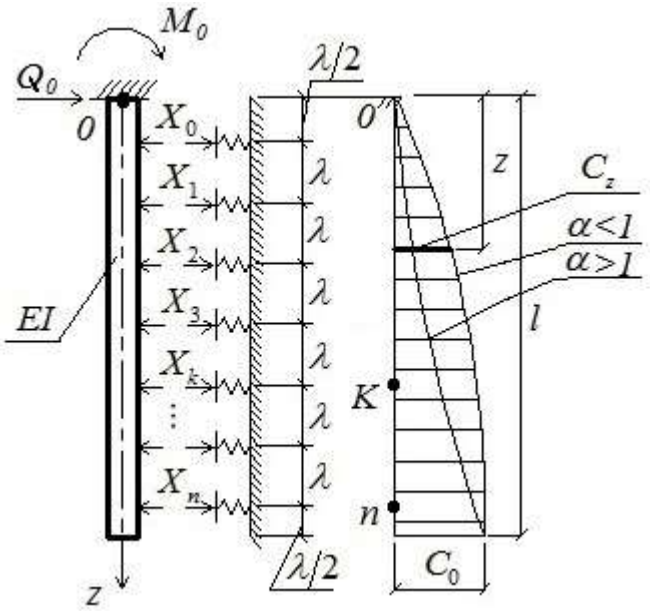
або

$$\delta_{kk} = \frac{\lambda^3}{6 \cdot EI} \cdot \left[\overline{\omega_{kk}} + \frac{6 \cdot n^4}{\overline{l_\beta^4} \cdot \left(\overline{C_n} + \left(\frac{k}{n} \right)^\alpha \right)} \right]. \qquad (30)$$

З отриманих залежностей для комплексної моделі № 1 отримаємо рішення для деяких моделей основи.

1.1.1.А. Для статичної епюри зміни коефіцієнта постелі рішення отримаємо при $\overline{C_n} = 0$ з (30) (Мал. 3):

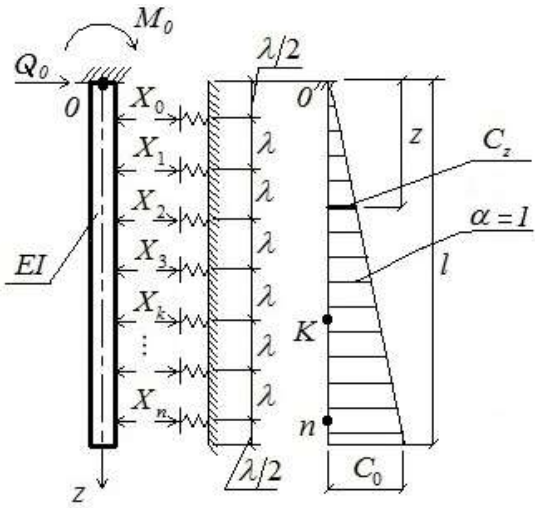
$$\delta_{kk} = \frac{\lambda^3}{6 \cdot EI} \cdot \left[\overline{\omega_{kk}} + \frac{6 \cdot n^4}{\overline{l_\beta^4} \cdot \left(\frac{k}{n} \right)^\alpha} \right]. \qquad (31)$$



Малюнок 3. Основна система і епюра статичного розподілу коефіцієнта постелі

1.1.1.Б. Лінійно зростаюча (трикутна) епюра коефіцієнта постелі (Мал. 4). Рішення отримаємо при $\overline{C_n} = 0$; $\alpha = 1$ з (29) або (30)

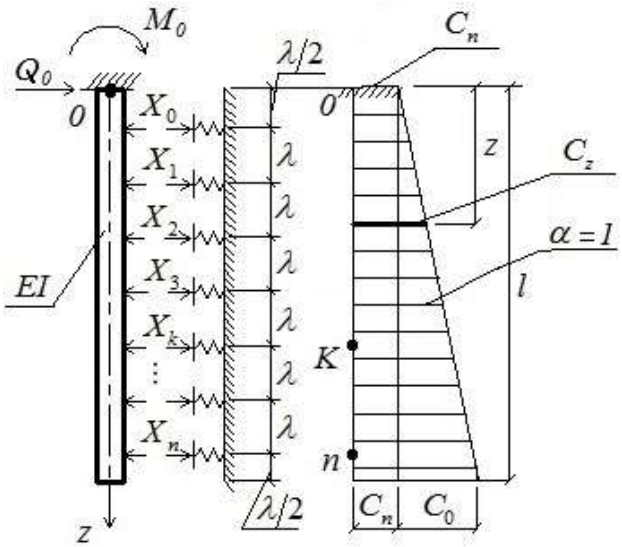
$$\delta_{kk} = \frac{\lambda^3}{6 \cdot EI} \cdot \left[\overline{\omega_{kk}} + \frac{6 \cdot n^5}{\overline{l_\beta^4} \cdot k} \right]. \tag{32}$$



Малюнок 4. Основна система і трикутна епюра коефіцієнта постелі

1.1.1.В. Рішення при трапецеїдальній закономірності розподілу коефіцієнта постелі (Мал. 5) отримаємо з (29) при $\alpha = 1$.

$$\delta_{kk} = \frac{\lambda^3}{6 \cdot EI} \cdot \left[\overline{\omega_{kk}} + \frac{6 \cdot n^5}{\overline{l_\beta^4} \cdot \left(\overline{C_n} \cdot n + k \right)} \right]. \tag{33}$$

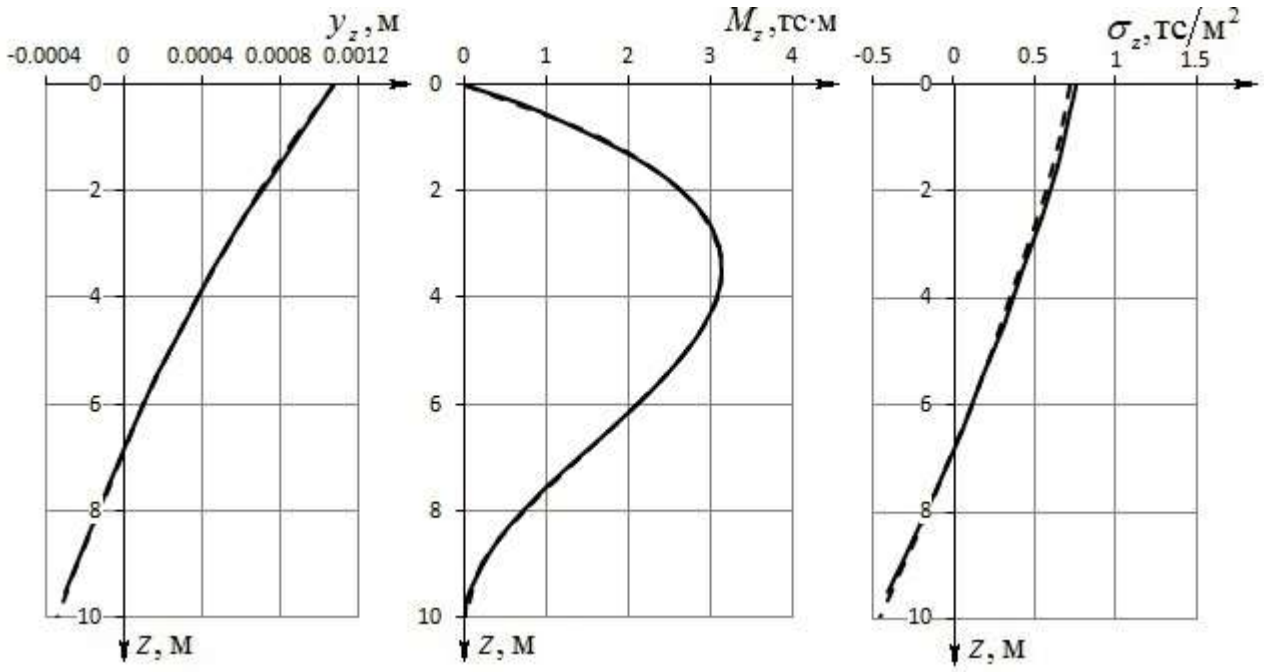


Малюнок 5. Основна система і трапецеїдальних епюра коефіцієнта постелі

Приклад розрахунку 1

Розглянемо горизонтально завантажену палю, занурену в основу, що характеризується трапецеїдальним коефіцієнтом жорсткості, за пропонованою методикою і використовуючи рішення А.С. Маліева. Вихідні дані: паля з характеристиками EI = 1 · 105 тс · м 2; b = 0.96м; l = 10 м. Грунт характеризується коефіцієнтом жорсткості на рівні поверхні C_n = 700 тс / м3 і $C_n + C_0$ = 1400 тс / м3 на глибині l. Горизонтальна сила Q = 2 тс прикладена у поверхні грунту.

Графіки значень y_z, M_z і σ_z в залежності від z для палі представлені на Мал. 6. Як бачимо, результати розрахунку добре узгоджуються з відповідними значеннями, отриманими за методом А.С. Маліева [42].



Малюнок 6. Епюри y_z, M_z і σ_z приклад розрахунку 1 (суцільна лінія – запропонована методика; пунктирна лінія – розв'язок А.С. Малієва)

1.3.1.1.2 Комплексна розрахункова модель № 2

Запишемо закономірність зміни коефіцієнта постелі уздовж осі палі наступним чином (Мал. 7):

$$C_z = C_n + C_0 \cdot \left(1 - e^{-\bar{a} \cdot z}\right) = C_n + C_0 \cdot \left(1 - e^{-a \cdot \bar{z}}\right), \qquad (34)$$

де C_z - коефіцієнт постелі на довільній глибині z, тс/м^3;

C_n - коефіцієнт постелі на рівні поверхні грунту, $тс/м^3$;

C_0 - деяка постійна величина коефіцієнта постелі на глибині Н, $тс/м^3$;

a - параметр, що залежить від переміщень палі і характеризує ступінь розвитку пластичних деформацій в грунті, причому $a>0$;

l - довжина заглибленої частини палі, м;

z - відстань від поверхні грунту до даного перетину палі, м;

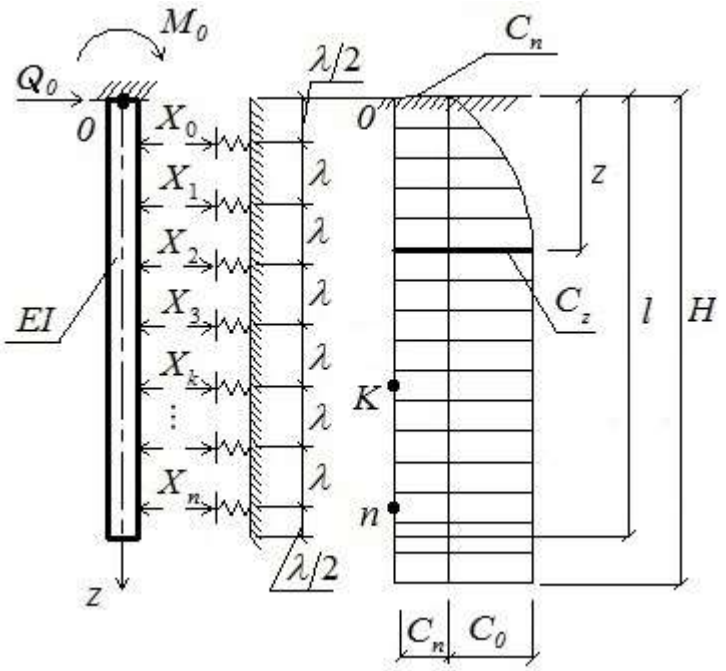
$\bar{z}$ - наведена (безрозмірна) глибина поперечного перерізу палі.

Вираз (34) можна записати у вигляді

$$C_z = C_0 \cdot \left[\frac{C_n}{C_0} + \left(1 - e^{-a \cdot \bar{z}}\right) \right]. \qquad (34\text{-}1)$$

позначимо

$$\frac{C_n}{C_0} = \overline{C_n}; \quad \frac{z}{l} = \bar{z}; \quad \lambda = \frac{l}{n}. \qquad (35)$$



Малюнок 7. Основна система і епюра коефіцієнта постелі C_z комплексної моделі № 2

Запишемо за методом Б.М. Жемочкіна поодинокі переміщення

$$\delta_{kk} = \frac{\lambda^3}{6 \cdot EI} \cdot \overline{\omega_{kk}} + \frac{1}{\lambda \cdot b_p \cdot C_0 \cdot \left[\overline{C_n} + \left(1 - e^{-a \cdot \bar{z}}\right)\right]}, \tag{36}$$

що можна привести до вигляду

$$\delta_{kk} = \frac{\lambda^3}{6 \cdot EI} \cdot \left[\overline{\omega_{kk}} + \frac{6 \cdot EI}{\lambda^4 \cdot b_p \cdot C_0 \cdot \left[\overline{C_n} + \left(1 - e^{-a \cdot \bar{z}}\right)\right]}\right]. \tag{37}$$

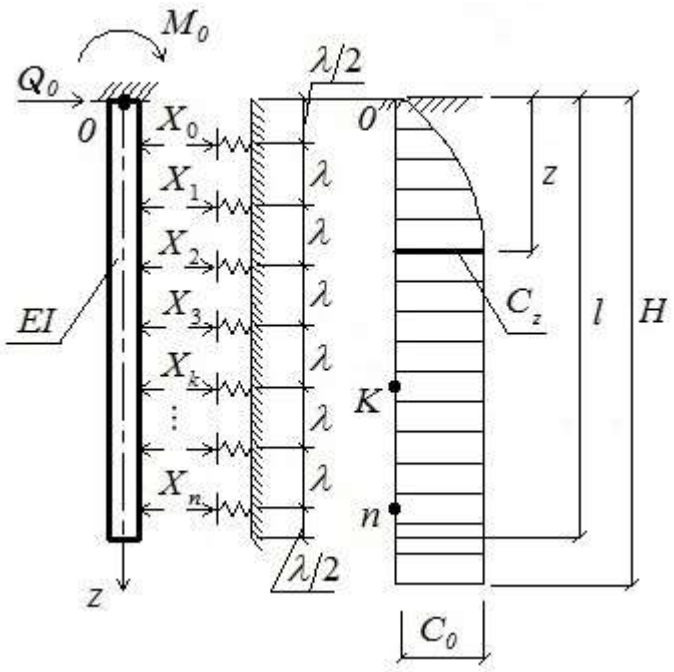
позначивши

$$\mu_д = \frac{1}{\lambda} \cdot \sqrt[4]{\frac{6 \cdot EI}{b_p \cdot C_0}},$$

запишемо другий член виразу (37) з урахуванням умов (35)

$$\frac{6 \cdot EI}{\lambda^4 \cdot b_p \cdot C_0 \cdot \left[\overline{C_n} + \left(1 - e^{-a \cdot \bar{z}}\right)\right]} = \mu_д^4 \cdot \frac{1}{\left[\overline{C_n} + 1 - e^{-a \cdot \frac{k}{n}}\right]}. \tag{38}$$

1.1.А. Експоненціальне розподіл коефіцієнта постелі моделі № 2 при $\overline{C_n} = 0$ (Мал. 8)

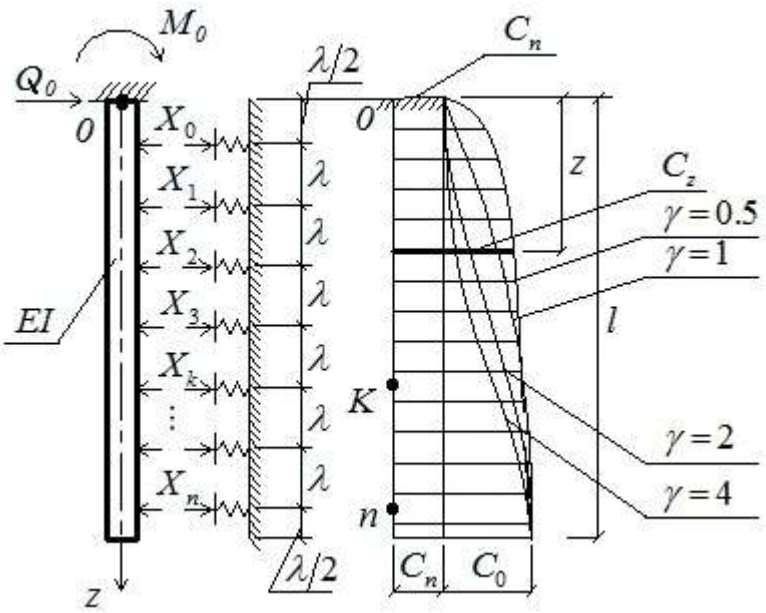


Малюнок 8. Основна система і експоненціальна епюра коефіцієнта постелі моделі № 2 при $\overline{C_n} = 0$

Рішення отримаємо з (38) при $C_n = 0$ в загальному вигляді

$$\delta_{kk} = \frac{\lambda^3}{6 \cdot EI} \cdot \left[\overline{\omega_{kk}} + \frac{\mu_д^4}{\left[1 - e^{-\frac{a \cdot k}{10}} \right]} \right]. \qquad (39)$$

1.1.3. Комплексна розрахункова модель № 3



Малюнок 9. Основна система і епюра коефіцієнта постелі C_z комплексної моделі № 3

Запишемо закономірність зміни коефіцієнта постелі уздовж осі палі наступним чином (Мал. 9):

$$C_z = C_n + C_0 \cdot \left\{ \sin\left[\frac{\pi}{2} \cdot \left(\frac{z}{l} \right)^{\gamma} \right] \right\} = C_n + C_0 \cdot \left[\sin\left(\frac{\pi}{2} \cdot z^{-\gamma} \right) \right], \qquad (40)$$

де C_n - коефіцієнт постелі (жорсткості) на рівні поверхні грунту, $тс/м^3$;

C_0 - коефіцієнт постелі на глибині l, $тс/м^3$;

C_z - коефіцієнт постелі на довільній глибині z, тс/м^3;

γ - розрахунковий параметр, що характеризує пружно-пластичні властивості грунту, причому $\gamma > 0$;

l - довжина заглибленої частини палі, м;

z - відстань від поверхні грунту до даного перетину палі, м.

$\bar{z}$ - наведена (безрозмірна) глибина поперечного перерізу палі,

$$\bar{a} \cdot z = \frac{a}{l} \cdot z = a \cdot \frac{z}{l} = a \cdot \bar{z}.$$

Вираз (40) можна записати вигляді

$$C_z = C_0 \cdot \left\{ \frac{C_n}{C_0} + \sin\left[\frac{\pi}{2} \cdot \left(\frac{z}{l} \right)^{\gamma} \right] \right\}, \qquad (40\text{-}1)$$

З урахуванням позначень (35), запишемо за методом Б.М. Жемочкіна поодинокі переміщення

$$\delta_{kk} = \frac{\lambda^3}{6 \cdot EI} \cdot \overline{\omega_{kk}} + \frac{1}{\lambda \cdot b_p \cdot C_0 \cdot \left[\overline{C_n} + \sin\left(\frac{\pi}{2} \cdot \bar{z}^{\gamma} \right) \right]}, \qquad (41)$$

що можна привести до вигляду

$$\delta_{kk} = \frac{\lambda^3}{6 \cdot EI} \cdot \left[\overline{\omega_{kk}} + \frac{6 \cdot EI}{\lambda^4 \cdot b_p \cdot C_0 \cdot \left[\overline{C_n} + \sin\left(\frac{\pi}{2} \cdot \bar{z}^{\gamma} \right) \right]} \right]. \qquad (42)$$

позначивши

$$\eta_{\text{д}} = \sqrt[4]{\frac{b_p \cdot C_0}{EI}},$$

$$\bar{z}^{\gamma} = \left(\frac{z}{l} \right)^{\gamma} = \left(\frac{k \cdot \lambda}{n \cdot \lambda} \right)^{\gamma} = \left(\frac{k}{n} \right)^{\gamma};$$

$$\overline{l_{\eta}} = l \cdot \eta_{\text{д}}.$$

запишемо другий член виразу (42) з урахуванням умов (35)

$$\frac{6\cdot EI}{\lambda^4\cdot b_p\cdot C_0\cdot\left[\overline{C_n}+\sin\left(\frac{\pi}{2}\cdot\bar{z}^{\gamma}\right)\right]}=\frac{6}{\lambda^4\cdot\eta_д^4\cdot\left[\overline{C_n}+\sin\left(\frac{\pi}{2}\cdot\bar{z}^{\gamma}\right)\right]}=\frac{6\cdot n^4}{\bar{l}_\eta^{\,4}\cdot\left\{\overline{C_n}+\sin\left[\frac{\pi}{2}\cdot\left(\frac{k}{n}\right)^{\gamma}\right]\right\}}. \quad (43)$$

Підставивши (43) в (42), отримаємо

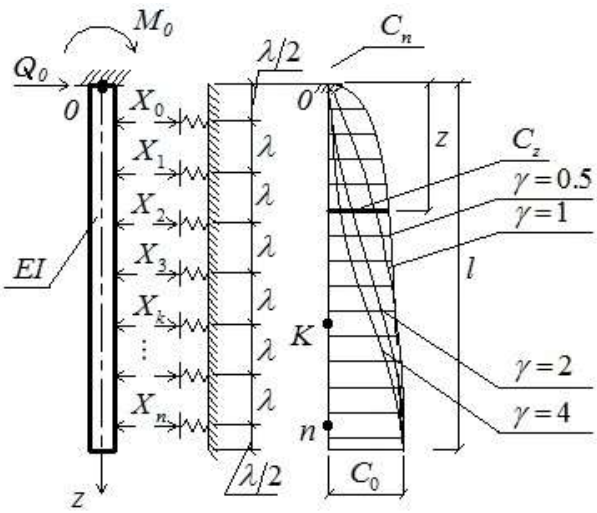
$$\delta_{kk}=\frac{\lambda^3}{6\cdot EI}\cdot\left[\overline{\omega_{kk}}+\frac{6\cdot n^4}{\bar{l}_\eta^{\,4}\cdot\left\{\overline{C_n}+\sin\left[\frac{\pi}{2}\cdot\left(\frac{k}{n}\right)^{\gamma}\right]\right\}}\right]. \quad (44)$$

при $n=10$ знайдемо

$$\delta_{kk}=\frac{\lambda^3}{6\cdot EI}\cdot\left[\overline{\omega_{kk}}+\frac{6\cdot 10^4}{\bar{l}_\eta^{\,4}\cdot\left\{\overline{C_n}+\sin\left[\frac{\pi}{2}\cdot\left(\frac{k}{10}\right)^{\gamma}\right]\right\}}\right]. \quad (45)$$

1.1.3.А. При синусоїдальної закономірності коефіцієнта постелі рішення отримаємо при $\overline{C_n}=0$ з (44) (Мал. 10).

$$\delta_{kk}=\frac{\lambda^3}{6\cdot EI}\cdot\left[\overline{\omega_{kk}}+\frac{6\cdot n^4}{\bar{l}^{\,4}\cdot\sin\left[\frac{\pi}{2}\cdot\left(\frac{k}{n}\right)^{\gamma}\right]}\right]. \quad (46)$$



Малюнок 10. Основна система і епюра синусоїдального розподілу коефіцієнта постелі

1.3.1.1.4. Комплексна розрахункова модель № 4 (трапецієподібний розподіл коефіцієнта постелі)

Закономірність зміни коефіцієнта постелі уздовж осі палі запишемо наступним чином (Мал. 11):

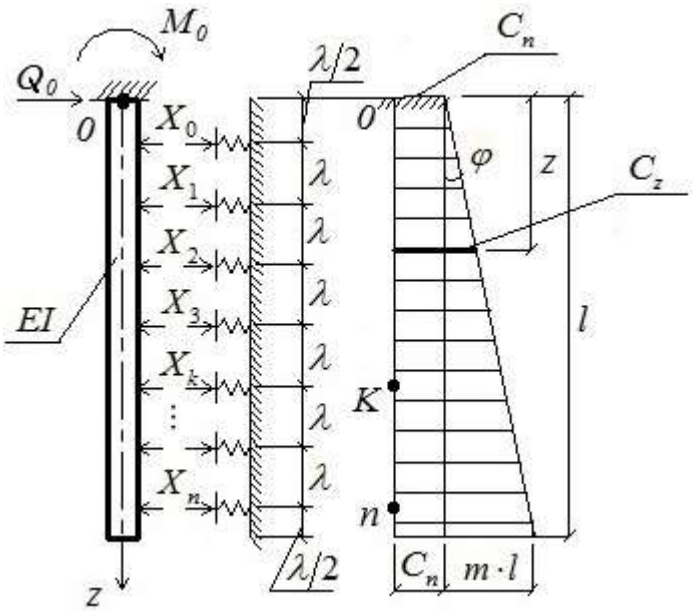
$$C_z = C_n + m \cdot z, \tag{47}$$

де C_z - коефіцієнт постелі на довільній глибині z, $тс/м^3$;

C_n - коефіцієнт постелі на рівні поверхні грунту, $тс/м^3$;

$m = tg\varphi$ - тангенс кута нахилу епюри коефіцієнта постелі (коефіцієнт пропорційності), $тс/м^4$;

z - відстань від поверхні грунту до даного перетину палі, м.



Малюнок 11. Основна система і епюра коефіцієнта постелі C_z комплексної моделі № 4

Запишемо за методом Б.М. Жемочкіна поодинокі переміщення

$$\delta_{kk} = \frac{\lambda^3}{6 \cdot EI} \cdot \left[\overline{\omega_{kk}} + \frac{6 \cdot EI}{\lambda^4 \cdot b_p \cdot m \cdot \left(\frac{C_n}{m} + z \right)} \right]. \tag{48}$$

Другий член формули (48) приводимо до виду

$$\frac{6\cdot EI}{\lambda^4\cdot b_p\cdot C_0\cdot(C_n+z)}=\frac{6\cdot EI}{\lambda^5\cdot b_p\cdot m}\cdot\frac{1}{\frac{C_n}{m\cdot\lambda}+\frac{z}{\lambda}},\tag{49}$$

де

$$\frac{z}{l}=\frac{k\cdot\lambda}{n\cdot\lambda}=\frac{k}{n};$$

$$\frac{C_n}{m\cdot\lambda}=\frac{C_n\cdot n}{m\cdot l};$$

$$\alpha_д=\sqrt[5]{\frac{m\cdot b_p}{EI}}.\tag{50}$$

Так як $\overline{l_\alpha}=l\cdot\alpha_д$, то формулу (49) запишемо у вигляді

$$\frac{6\cdot EI}{\lambda^5\cdot b_p\cdot m}\cdot\frac{1}{\frac{C_n}{m\cdot\lambda}+\frac{z}{\lambda}}=\frac{6\cdot n^5}{(l\cdot\alpha_д)^5}\cdot\frac{1}{\frac{C_n}{m\cdot\lambda}+\frac{z}{\lambda}}=\frac{6\cdot n^5}{\overline{l_\alpha^5}}\cdot\frac{1}{\frac{C_n\cdot n}{m\cdot l}+k}.\tag{51}$$

Підставивши (51) в (48) і при $n=10$ отримаємо

$$\delta_{kk}=\frac{\lambda^3}{6\cdot EI}\cdot\left[\overline{\omega_{kk}}+\frac{6\cdot 10^5}{\overline{l_\alpha^5}\cdot\left(\frac{10\cdot C_n}{m\cdot l}+k\right)}\right].\tag{52}$$

Можна довести, що $l^4\cdot\beta_д^4=l^5\cdot\alpha_д^5$:

$$l^4\cdot\frac{C_0}{EI}=l^5\cdot\frac{m}{EI},$$

$$l^4\cdot\frac{m\cdot l}{EI}=l^5\cdot\frac{m}{EI}.$$

1.1.4.А. Трикутний розподіл коефіцієнта постелі (Мал. 12)

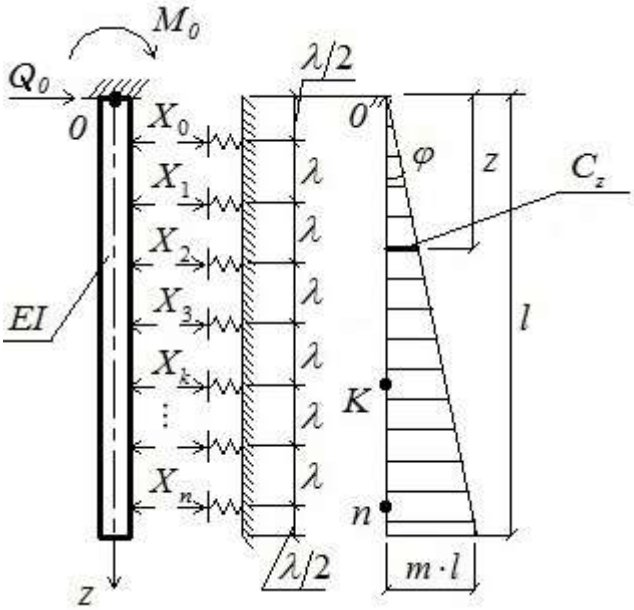
Рішення отримаємо з (52) при $C_n=0$ в загальному вигляді

$$\delta_{kk}=\frac{\lambda^3}{6\cdot EI}\cdot\left[\overline{\omega_{kk}}+\frac{6\cdot 10^5}{\overline{l_\alpha^5}\cdot k}\right].\tag{53}$$

Покажемо, що з рішення (48) для комплексної моделі № 4 при $C_n=0$ для трикутного розподілу коефіцієнта постелі отримаємо

$$\delta_{kk} = \frac{\lambda^3}{6 \cdot EI} \cdot \left[\overline{\omega_{kk}} + \frac{6 \cdot 10^5}{\overline{l_\alpha^5} \cdot k} \right]. \tag{54}$$

А так як $\overline{l_\beta^4} = \overline{l_\alpha^5}$, То рівності (53) і (54) збігаються.



Малюнок 12 Основна система і трикутна епюра коефіцієнта постелі

1.1.4.Б. Модель Вінклера з постійним коефіцієнтом постелі (Мал.13)

З (52) при $m=0$ отримаємо

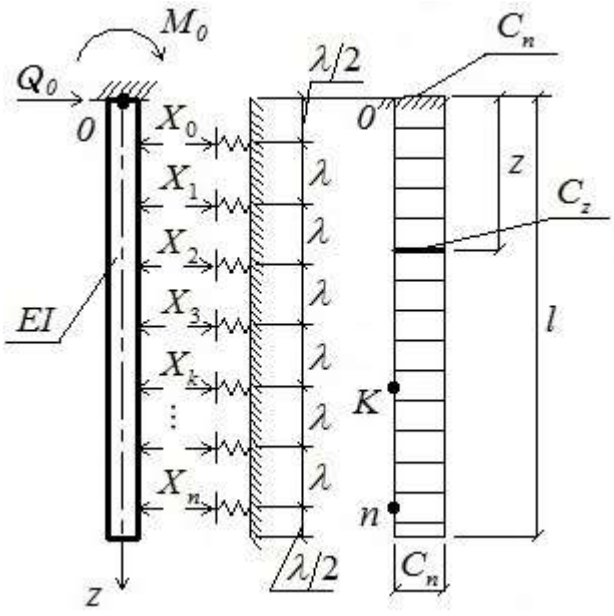
$$\delta_{kk} = \frac{\lambda^3}{6 \cdot EI} \cdot \left[\overline{\omega_{kk}} + \frac{6 \cdot EI}{\lambda^4 \cdot b_p \cdot C_n} \right]. \tag{55}$$

позначивши

$$\gamma_д = \sqrt[4]{\frac{C_n \cdot b_p}{EI}}; \ \overline{l_\gamma} = l \cdot \gamma_д,$$

отримаємо

$$\delta_{kk} = \frac{\lambda^3}{6 \cdot EI} \cdot \left[\overline{\omega_{kk}} + \frac{6 \cdot 10^4}{\overline{l_\gamma^4}} \right]. \tag{56}$$



Малюнок 13. Основна система і прямокутна епюра коефіцієнта постелі

<u>Приклад розрахунку 2</u>

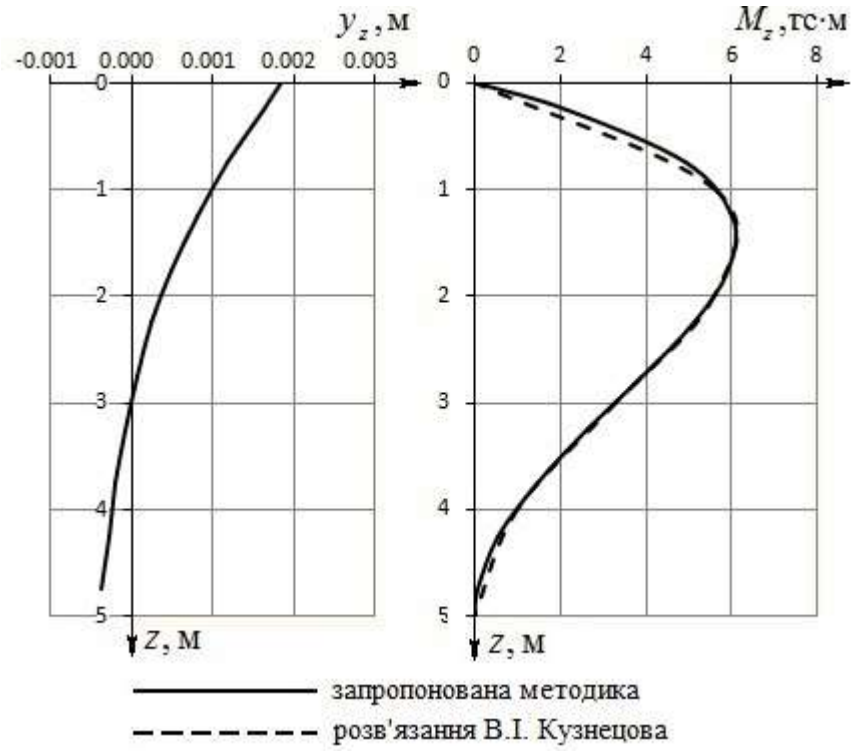
Розглянемо балку на пружній основі з постійним коефіцієнтом жорсткості з використанням запропонованої методики рішення В.І. Кузнєцова [43].

Вихідні дані: паля з характеристиками E = 1 · 106 тс / м2; *I*= 1.042 · 102 М4, b = 1 м; l = 6м. Грунт характеризується коефіцієнтом жорсткості C_n = 5700 тс / м3. Горизонтальна сила Q = 10 тс прикладена на поверхні грунту.

Графіки отриманих значень y_z і M_z в залежності від z представлені на Мал. 14. Як бачимо, результати розрахунку за нашою методикою і методикою В.І. Кузнєцова [43] можуть бути різними не більше ніж на 3%.

Аналізуючи отримані результати, можна зробити висновок про те, що запропонований метод дозволяє вірно і досить просто обчислити величини горизонтальних деформацій, згинальних моментів і горизонтальних напружень по боковій поверхні палі.

Даний метод може бути застосований при різній формі розподілу коефіцієнта жорсткості по глибині, що дозволить враховувати роботу горизонтально навантажених паль в різних грунтових умовах.



Малюнок 14. Епюри y_z і M_z на приклад розрахунку 2

За результатами розрахунків для кожної з комплексних моделей, виходячи з найбільш використовуваних геометричних і міцності паль, складені таблиці для прямого визначення одиничних сил X_k, Горизонтальних переміщень y_0 і згинальних моментів по глибині занурення M_z. Слід врахувати, що поперечна розподілене навантаження q включається в рівняння рівноваги як сума горизонтальних сил $\sum Q$ і згинальних моментів $\sum M$ щодо точки умовного защемлення «0» у вигляді

$$\left.\begin{aligned} \sum Q &= q \cdot b \cdot l, \\ \sum M &= \frac{q \cdot b \cdot l^2}{2}. \end{aligned}\right\}. \qquad (57)$$

Для визначення величин відсічі грунту, згинальних моментів по глибині паль, горизонтальних переміщень і кута повороту в рівні поверхні грунту при розрахунку паль, навантажених горизонтальної силою Q_0, Необхідно скористатися наступними залежностями

$$\left.\begin{aligned} y_0 &= \frac{\omega_0 \cdot Q_0 \cdot \lambda^3}{6 \cdot EI}; \\ \varphi_0 &= \frac{\varphi_0' \cdot Q_0 \cdot \lambda^2}{6 \cdot EI}; \\ \sigma_z &= \frac{X_i \cdot Q_0}{b \cdot \lambda}; \\ M_z &= M_i \cdot Q_0 \cdot \lambda. \end{aligned}\right\}. \tag{58}$$

Для визначення аналогічних величин при розрахунку паль, навантажених згинаючим моментом M_0, Необхідно скористатися залежностями

$$\left.\begin{aligned} y_0 &= \frac{\omega_0 \cdot M_0 \cdot \lambda^2}{6 \cdot EI}; \\ \varphi_0 &= \frac{\varphi_0' \cdot M_0 \cdot \lambda}{6 \cdot EI}; \\ \sigma_z &= \frac{X_i \cdot M_0}{b \cdot \lambda^2}; \\ M_z &= M_i \cdot M_0. \end{aligned}\right\}. \tag{59}$$

1.3.1.2. Рішення зворотньої задачі визначення жорсткості основи і напруженого стану горизонтально навантажених паль по заданим деформаціям і зовнішньому навантаженні

Достовірність визначення напружено-деформованого стану палі багато в чому залежать від правильності визначення значень коефіцієнта жорсткості основи і від закону його зміни по глибині.

Далі наведено метод визначення розподілу коефіцієнта жорсткості основи по глибині, виходячи з експериментальних величин горизонтальних переміщень горизонтально завантажених паль.

Порядок розрахунку полягає в наступному. Як і в попередньому пункті 1.1, палю довжиною lрозбиваємо на рівні ділянки, в серединах яких ставимо жорсткі стрижні, що забезпечують контакт палі з грунтом. горизонтальні переміщення u_k в цих точках отримані з експериментальних досліджень.

Система канонічних рівнянь являє собою умови рівності нулю суми переміщень у напрямку кожної одиничної сили X_k і два рівняння рівноваги. Система вирішується щодо невідомих C_k.

З урахуванням

$$X_k = u_k \cdot \lambda \cdot b_p \cdot C_k; \tag{60}$$

$$\left.\begin{aligned} \delta_{ki} = V_{kk} + w_{ki} = \frac{1}{\lambda \cdot b \cdot C_k} + \frac{\lambda^3}{6 \cdot EI} \cdot \overline{\omega_{ki}}, \quad (\text{при } k = i); \\ \delta_{ki} = w_{ki} = \frac{\lambda^3}{6 \cdot EI} \cdot \overline{\omega_{ki}}, \qquad\qquad (\text{при } k \neq i), \end{aligned}\right\}, \tag{61}$$

система канонічних рівнянь запишеться в такий спосіб

$$A \cdot \begin{vmatrix} C_0 \\ C_1 \\ \dots \\ C_n \\ \omega_0 \\ \varphi_0' \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} -\Delta_{0p} \\ -\Delta_{1p} \\ \dots \\ -\Delta_{np} \\ \sum Q/(\lambda \cdot b) \\ \sum M/(\lambda^2 \cdot b) \end{vmatrix}, \tag{62}$$

де А - квадратна матриця:

$$A = \begin{vmatrix} u_0 \cdot \left(\overline{\omega_{00}} + \frac{6 \cdot EI}{\lambda^4 \cdot b}\right) & u_1 \cdot \overline{\omega_{01}} & \dots & u_n \cdot \overline{\omega_{0n}} & 1 & a_0 \\ u_0 \cdot \overline{\omega_{10}} & u_1 \cdot \left(\overline{\omega_{11}} + \frac{6 \cdot EI}{\lambda^4 \cdot b}\right) & \dots & u_n \cdot \overline{\omega_{1n}} & 1 & a_1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ u_0 \cdot \overline{\omega_{n0}} & u_1 \cdot \overline{\omega_{n1}} & \dots & u_n \cdot \left(\overline{\omega_{nn}} + \frac{6 \cdot EI}{\lambda^4 \cdot b}\right) & 1 & a_n \\ u_0 \cdot 1 & u_1 \cdot 1 & \dots & u_n \cdot 1 & 0 & 0 \\ u_0 \cdot a_0 & u_1 \cdot a_1 & \dots & u_n \cdot a_n & 0 & 0 \end{vmatrix}. \tag{63}$$

Відзначимо, що отримуються з рішення системи (62) значення ω_0 і φ_0 збільшені в $\frac{6 \cdot EI}{\lambda^4 \cdot b}$ раз, де

C_k - коефіцієнт жорсткості основи в точці K , Тс / м2;

ω_0 - горизонтальне переміщення в місці умовної закладення;

φ_0 - кут повороту умовної закладення;

Δ_{np} - вантажні переміщення від зовнішніх сил;

u_k - заданий горизонтальне переміщення палі, м;

a_k - відстань від точки K до умовної закладення;

$\overline{\omega_{ki}}$ - поодинокі прогини балки в точці K від сили X_k, Затабульовано в [44].

Після визначення коефіцієнтів жорсткості основи не складає труднощів обчислити розподіл згинальних моментів, горизонтальних сил і відсіч грунту по глибині палі.

Приклад розрахунку 3

Покажемо, як обчислюються коефіцієнти рівнянь.

Розглянемо експериментальні дослідження паль в слабких грунтах, проведених лабораторією фундаментів і підземних споруд Харківського ПромбудНДІпроекту А.Н. Довгим і Г.С. Лекумовічем під керівництвом Лучковського І.Я. [45], [46].

На експериментальному майданчику м. Первомайська, Харківської області були проведені випробування горизонтально навантажених металевих паль перетином 30х30 см, занурених в грунт на глибину 6 м.

Приступаючи до вирішення завдання, необхідно розбити палю на ділянки. Практично досить від 6 до 10 ділянок. Складаючи рівняння для палі з кількістю ділянок $n=10$ і умовним закріпленням в рівні поверхні грунту, з (62) отримаємо таку систему

$$A\cdot\begin{vmatrix} C_0 \\ C_1 \\ C_2 \\ C_3 \\ C_4 \\ C_5 \\ C_6 \\ C_7 \\ C_8 \\ C_9 \\ \omega_0 \\ \varphi_0' \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ \sum Q/(0.6\cdot 0.95) \\ \sum M/(0.6^2\cdot 0.95) \end{vmatrix},$$

де А - квадратна матриця запишеться з урахуванням одиничних прогинів $\overline{\omega_{ki}}$ від зосереджених сил з таблиці IV [44]:

$$A = \begin{vmatrix} m_{00} & m_{01} & \dots & m_{09} & 1 & a_0 \\ m_{10} & m_{11} & \dots & m_{19} & 1 & a_1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ m_{90} & m_{91} & \dots & m_{99} & 1 & a_n \\ u_0 & u_1 & \dots & u_n & 0 & 0 \\ u_0 \cdot a_0 & u_1 \cdot a_1 & \dots & u_n \cdot a_n & 0 & 0 \end{vmatrix}.$$

На основі експериментальних досліджень [47] отримаємо горизонтальні переміщення u_k в кожній точці:

$$\begin{aligned} u_0 &= 0.01480; \\ u_1 &= 0.00866; \\ u_2 &= 0.00398; \\ u_3 &= 0.00115; \\ u_4 &= -0.0001; \\ u_5 &= -0.00037; \\ u_6 &= -0.00025; \\ u_7 &= -0.00009; \\ u_8 &= -0.00001; \\ u_9 &= 0.000018. \end{aligned}$$

Далі можна отримати числові вирази для елементів матриці m_{ki} і a_k з урахуванням горизонтальних переміщень u_k і одиничних прогинів $\overline{\omega_{ki}}$ з [44]:

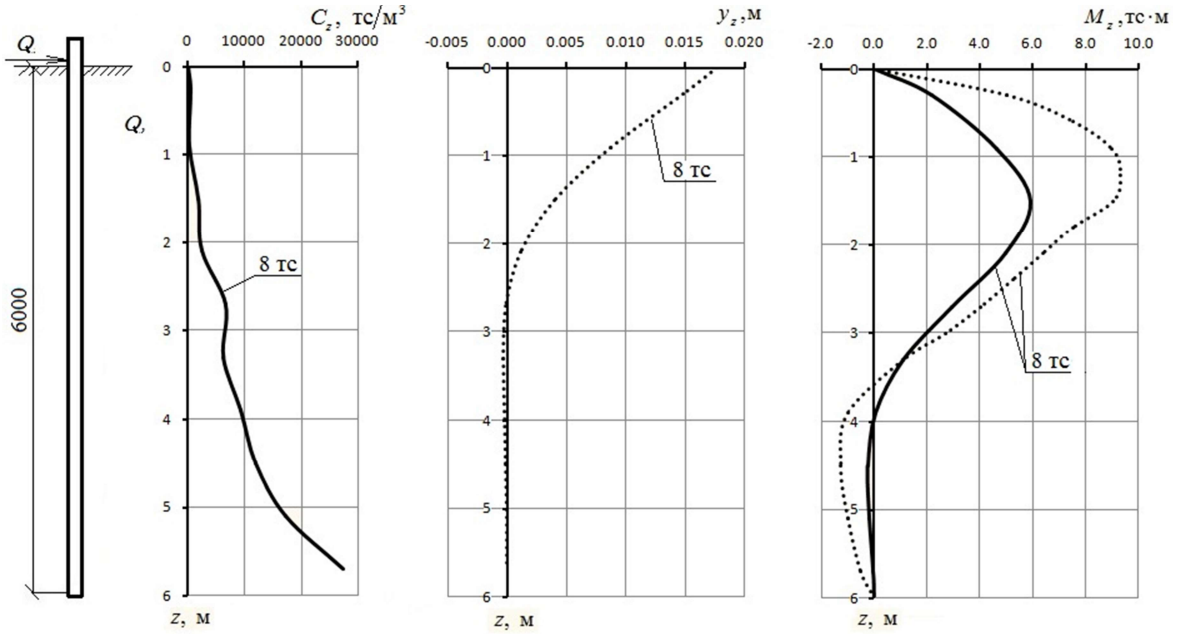
$$\begin{aligned} a_0 \cdot u_0 &= 0.5 \cdot 0.01480 = 0.0074017; \\ a_1 \cdot u_1 &= 1.5 \cdot 0.00866 = 0.0129867; \\ a_2 \cdot u_2 &= 2.5 \cdot 0.00398 = 0.0099415; \\ a_3 \cdot u_3 &= 3.5 \cdot 0.00115 = 0.0040236; \\ a_4 \cdot u_4 &= 4.5 \cdot (-0.0001) = -0.00045; \\ a_5 \cdot u_5 &= 5.5 \cdot (-0.00037) = -0.0020119; \\ a_6 \cdot u_6 &= 6.5 \cdot (-0.00025) = -0.0016185; \\ a_7 \cdot u_7 &= 7.5 \cdot (-0.00009) = -0.000699; \\ a_8 \cdot u_8 &= 8.5 \cdot (-0.00001) = -0.000085; \\ a_9 \cdot u_9 &= 9.5 \cdot 0.000018 = 0.00017575. \end{aligned}$$

Вирішуючи отриману систему рівнянь, отримаємо

$$C_0 = 523.69;$$
$$C_1 = 216.15;$$
$$C_2 = 1909.29;$$
$$C_3 = 2482.84;$$
$$C_4 = 6618.26;$$
$$C_5 = 6304.97;$$
$$C_6 = 9321.62;$$
$$C_7 = 12035.71;$$
$$C_8 = 17221.5;$$
$$C_9 = 27338.28;$$
$$\omega_0 = -121.06;$$
$$\varphi_0 = 45.61.$$

На Мал. 15 дані результати розрахунку палі. Наведено епюри розподілу коефіцієнта жорсткості і згинальних моментів, отриманих з урахуванням значень горизонтальних деформацій по глибині палі.

Як можна помітити, отримана епюра коефіцієнта жорсткості по глибині палі при даних грунтових умовах має увігнутий характер.



Малюнок 15. Значення коефіцієнта жорсткості грунту Cz, майданчик № 2 (металеві палі) до прикладу розрахунку 3.

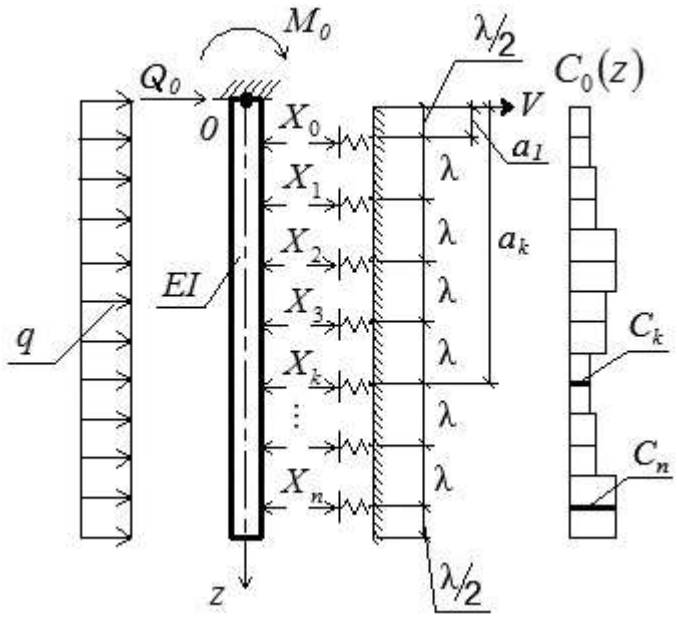
Графіки залежності Cz = f (z) при Q = 8 тс, yz = f (Q), епюри згинальних моментів у функції від зовнішнього навантаження (Mz = f (Q)) (Суцільна лінія – запропонована методика; пунктирна лінія – експериментальні дані)

1.3.1.3. Урахування неоднорідної (багатошарової) грунтової основи при розрахунку горизонтально навантажених паль

Нормативної методикою [48] передбачено приведення неоднорідної основи до умовно однорідної в зв'язку зі складнощами розрахунку. Далі наведено метод розрахунку палі, зануреної в багатошарову основа Вінклера, заснований на методі Б.Н. Жемочкіна [40].

Порядок розрахунку такий же, як і в п. 1.1.

При змінному законі $C(z)$ (Мал. 16) по довжині балки обчислюємо осадку основи $\overline{V_{kk}}$ в точці K за формулою (14) виходячи з відповідного їй коефіцієнта жорсткості основи.



Малюнок 16. Розрахункова схема палі, зануреної в багатошарову основу

<u>Приклад розрахунку 4</u>

Розглянемо горизонтально завантажену палю діаметром D = 1 м, при наступних вихідних даних: l = 12 м. Жорсткість палі: *EI*= 133.2 · 103 тс · м Горизонтальна сила, прикладена до палі в рівні поверхні грунту, Q = 10 тс.

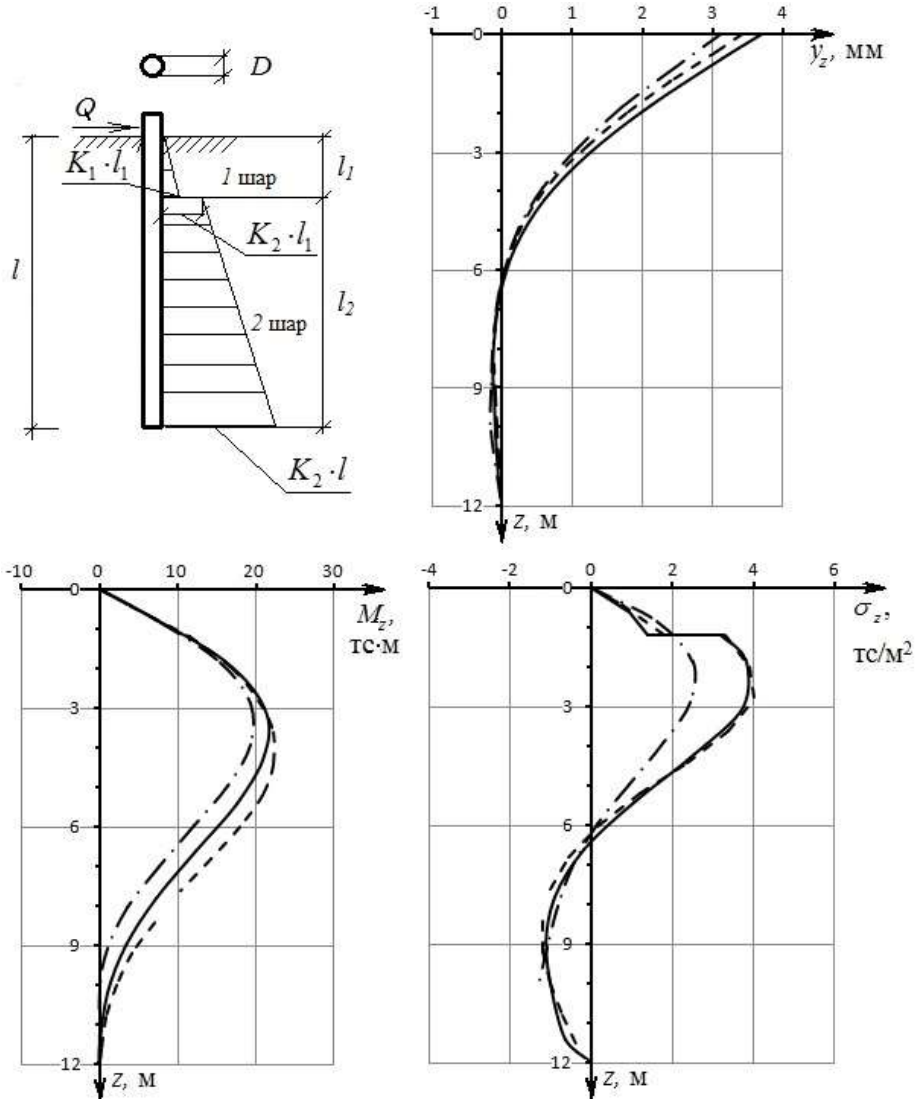
а) Розрахуємо перший випадок, при якому двошарове підставу характеризується коефіцієнтами пропорційності: К1 = 500 тс / М4, *К2* = 1000 тс / М4, l1 = 1.2 м (Мал. 17).

Розбиваємо палю на 10 рівних ділянок довжиною $\lambda = 1.2$ м і обчислюємо за формулою (65) і (64) в кожній точці K значення δ_{kk}. Складемо систему канонічних рівнянь за формулами (67) і (68). Вирішивши її, отримаємо значення невідомих X_n, ω_0, φ_0.

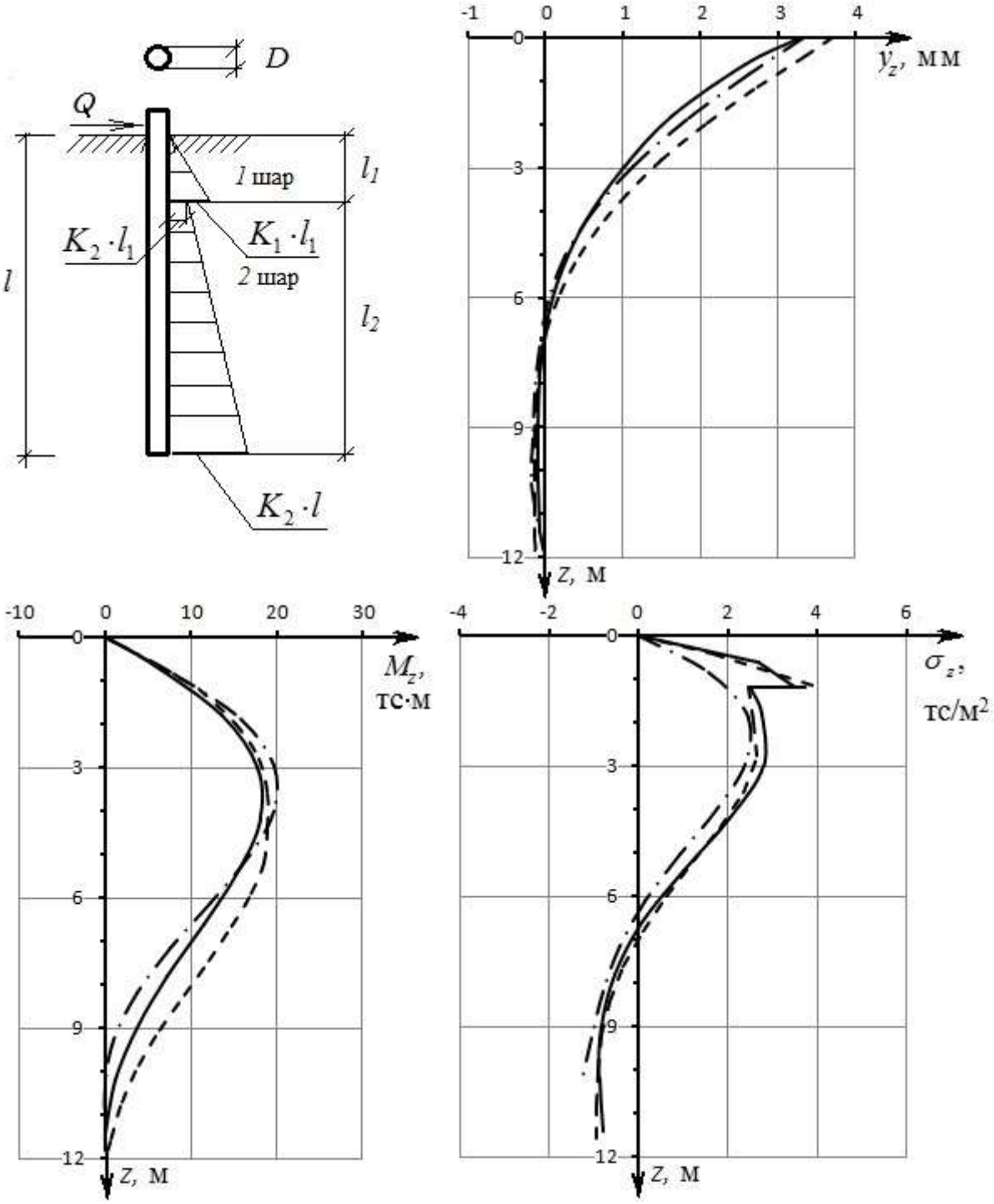
За цим значенням неважко обчислити відсіч і прогин палі. Отримані значення наведені на Мал. 17.

б) Викликає також інтерес другий випадок, при якому грунт характеризується коефіцієнтом пропорційності: К1 = 1000 тс / М4, К2 = 500 тс / М4, l1 = 1.2 м (Мал. 18).

Обчислені контактний тиск і прогини палі, наведені на Мал. 18.



Малюнок 17. Розрахункова схема і епюри y_z, M_z і σ_z наприклад розрахунку 4 а) (Суцільна лінія – запропонована методика; пунктирна лінія – розрахунок за «SCAD»; штрихпунктирна лінія – методика «Керівництва»)



Малюнок 18. Розрахункова схема і епюри y_z, M_z і σ_z наприклад розрахунку 4 б)) (Суцільна лінія – запропонована методика; пунктирна лінія – розрахунок за «SCAD»; штрихпунктирна лінія – методика «Керівництва»)

На основі порівняння результатів, отриманих за пропонованою методикою, з результатами розрахунку по «Керівництву» [48] (за величинами горизонтальних деформацій, згинальних моментів і контактних тисків) для обох випадків розподілу коефіцієнта жорсткості основи можна зробити висновок, що запропонована методика, на відміну від методики «Керівництва», дозволяє врахувати неоднорідність основи і вірно оцінити напружено-деформований стан горизонтально навантажених паль, що підтверджується розрахунком, виконаним за допомогою розрахункового комплексу «SCAD».

Запропонована методика відрізняється на 15% за деформаціями і до 10% за величиною максимального моменту від методики, наведеної в «Керівництві», і практично збігається з розрахунком в ПК «SCAD».

1.3.2 Облік поперечного навантаження, розподіленого по довжині палі

Слід зазначити, що за методикою «Довідника проектувальника» [49] горизонтальний тиск g, що виникає в заанкерених частини гнучких підпірних пальових та інших стін з боку засипки (Мал. 19), не враховується, а розрахунок напружено-деформованого стану підземної частини палі (шпунта) проводиться на дію равнодействующих Q_0 і M_0 на рівні закладення палі. Крім того, розрахунок необхідної кількості робочої (поздовжньої) арматури паль, або несучої здатності стін, виробляється на дію внутрішніх зусиль, яких визначали за пружною стадії роботи стіни, що спирається на Вінклерово підставу з використанням моделі основи з лінійно зростаючим по глибині коефіцієнтом постелі [50], [42], [48].

Така практика розрахунку гнучких стін пов'язана з недооцінкою додаткового навантаження g і ігноруванням запасу міцності стін у граничному стані в системі «паля-грунт».

На Мал. 19 представлена розрахункова схема гнучкої підпірної стінки в пружній стадії і в граничному стані при розподілі епюри коефіцієнта постелі у вигляді трапеції

$$C_z = C_0 + K \cdot z, \tag{64}$$

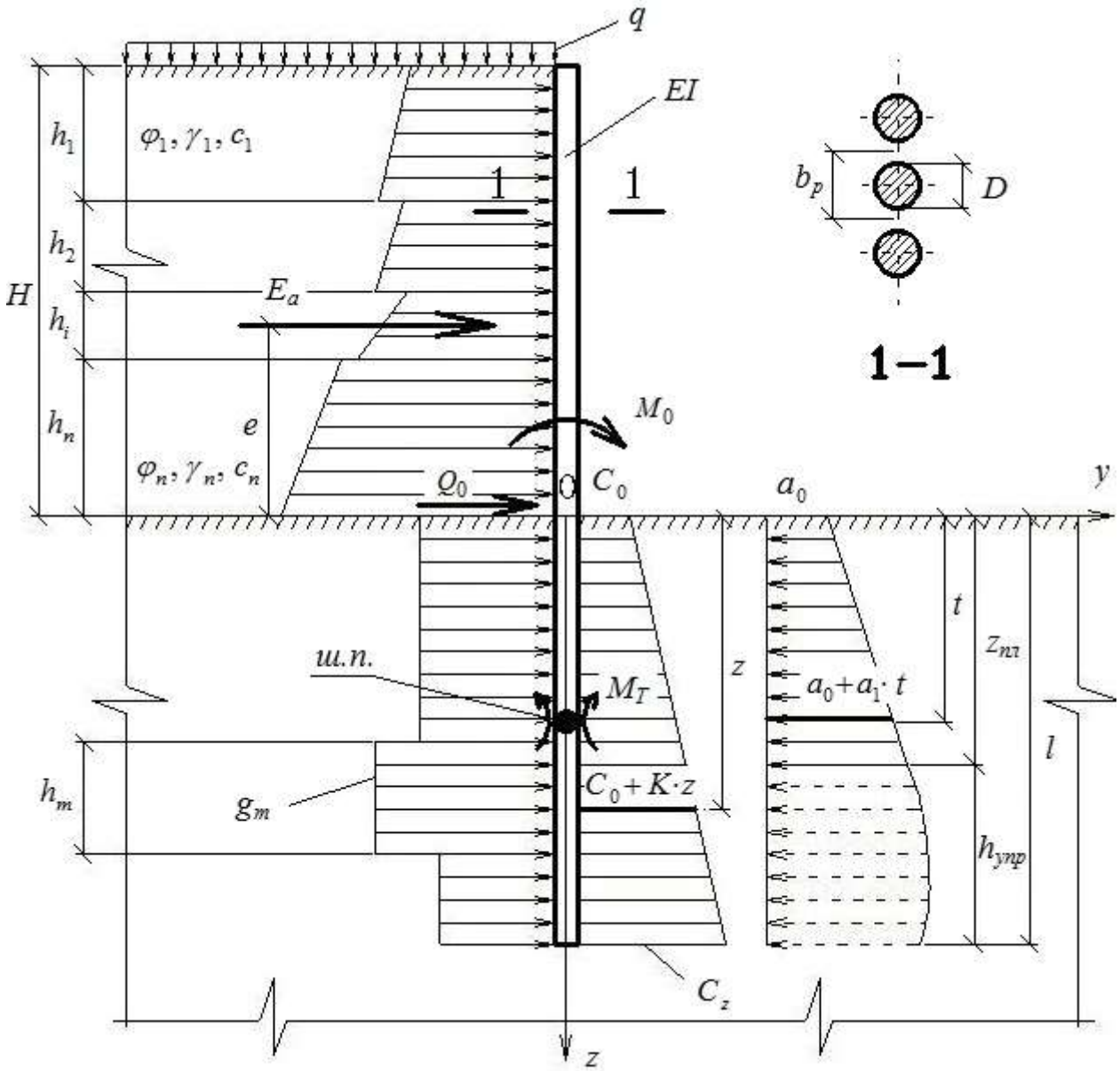
де C_0- коефіцієнт постелі в рівні закладення палі в грунт, тс/м^3;

K - коефіцієнт пропорційності, тс/м^4.

Епюра відсічі грунту в зоні граничної рівноваги представлена у вигляді

$$a_z = a_0 + a_1 \cdot z, \tag{65}$$

де a_0, a_1 - показники міцності, тс/м^3.



Малюнок 19. Розрахункові схеми взаємодії підпірної стіни з грунтом в пружній стадії і в граничному стані

При цьому прийняті наступні позначення:

q - рівномірно розподілене навантаження на поверхні засипки, тс / м2;

Ea- сумарний активний тиск на 1 п.м. стінки в межах засипання висотою Н;

e - відстань від рівнодіючої активного тиску Еа до рівня закладення палі в грунт, м;

$Q_0 = E_a$ - горизонтальне зусилля, що діє на палю в рівні її закладення в грунт, тс;

$M_0 = E_a \cdot e$ - згинальний момент в рівні закладення палі в грунт, $тс \cdot м$;

D - діаметр (сторона) поперечного перерізу палі, м;

b_p - розрахункова ширина поперечного перерізу палі, м;

t - глибина освіти шарніра пластичності (ш.п.) в палі від рівня закладення палі в грунт, м;

l - довжина заглибленої частини палі, м;

$z_{пл}$ - зона пластичної роботи грунту, м;

$h_{упр}$ - зона пружною роботи грунту і палі, м;

ш.п. - шарнір пластичності, що утворюється в стовбурі палі при досягненні граничного стану системою «паля-грунт»;

g_m - додаткове навантаження на заглиблені частина палі на 1 п.м. довжини стіни в шарі т, викликана засипанням і навантаженням q, тс / м2,

$$g_m = (q + \sum_{1}^{n} \gamma_i \cdot h_i) \cdot \lambda_{am}, \qquad (66)$$

λ_{am} - коефіцієнт бокового тиску грунту m-го шару заглибленої частини палі;

M_T - граничний згинальний момент, що сприймається розрахунковим перерізом палі, $тс \cdot м$.

1.3.2.1. Пружна стадія роботи палі і однорідного ґрунтового масиву

Величини зусиль і деформацій в палях стіни в пружній стадії при трикутній епюрі коефіцієнта постелі визначаються відповідно до «Керівництва» [48], а у випадку з трапецеидальною епюрою коефіцієнта постелі застосовується метод «фіктивних початкових параметрів» І.Я. Лучковського [45] або рішення А.С. Маліева [42].

1.3.2.2. Визначення несучої здатності палі в граничному стані

У граничному стані, що виникає при утворенні пластичного шарніра в зоні граничної рівноваги грунту на глибині t (Мал. 20), повинні виконуватися дві умови

$$Q_t = 0; \tag{67}$$

$$M_t = M_T. \tag{68}$$

З умови (67) отримаємо

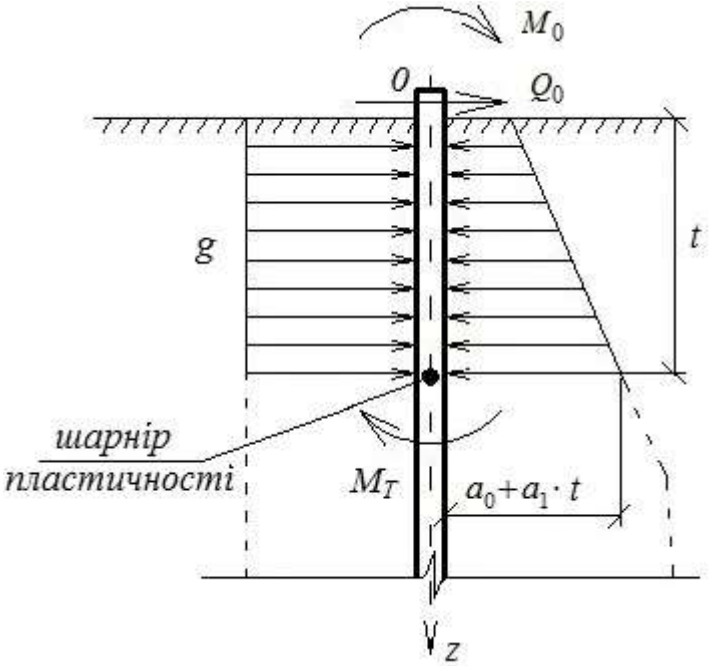
$$\frac{a_1 \cdot t^2}{2} - (a_0 - g) \cdot t - Q_0 = 0. \tag{69}$$

Потім, після деяких перетворень, знайдемо глибину t:

$$t = \frac{1}{a_1}\left[(g - a_0) + \sqrt{(g - a_o)^2 + 2a_1 \cdot Q_0}\right]. \tag{70}$$

З умови (68) знайдемо необхідне значення граничного згинального моменту МТ

$$M_T = b_p\left[M_0 + \mathrm{Q}_0 \cdot t + (g - a_o)\frac{t^2}{2} - \frac{a_1 t^3}{6}\right]. \tag{71}$$

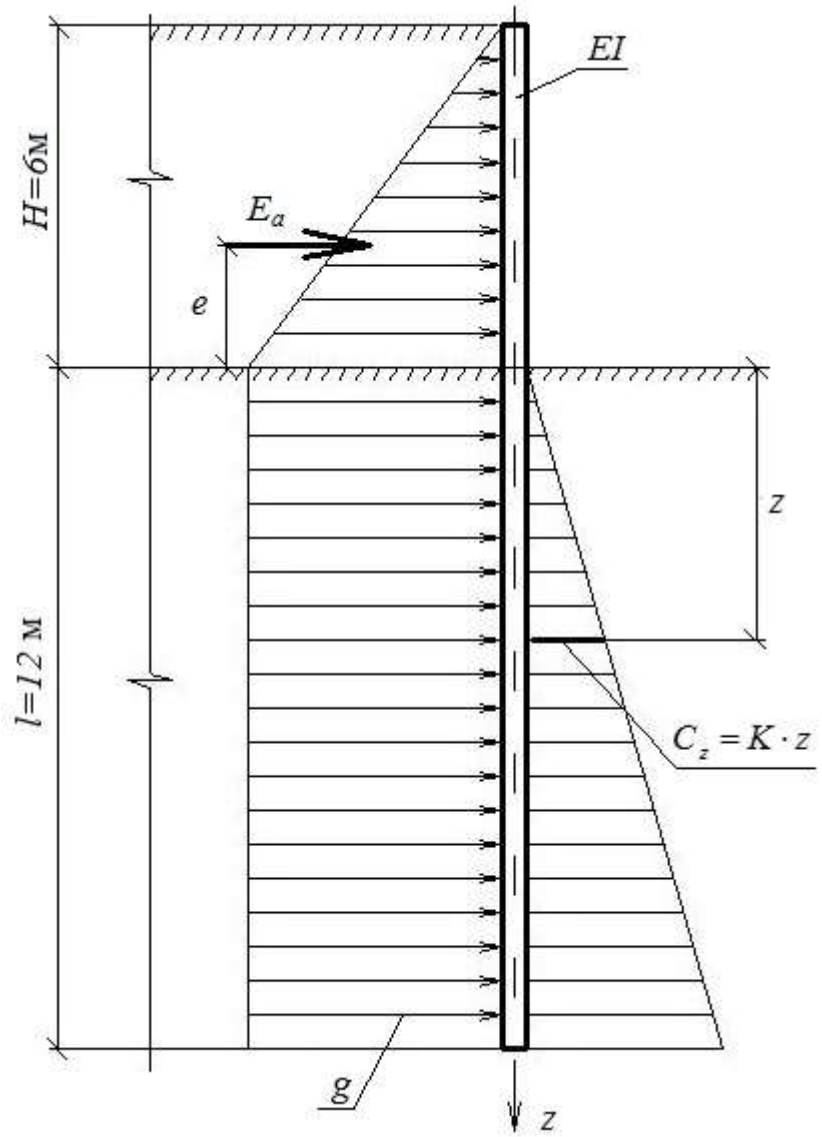


Малюнок 20. Схема граничного стану заглибленої частини палі

Приклад розрахунку 5

Як приклад розглянемо пальових стінку з паль діаметром D =1 м (Мал. 21), при наступних вихідних даних: H = 6м; l = 12м; q = 0. Жорсткість однієї палі: $EI = 1.37445 \cdot 10^5$ тс·м^2

Грунт по всій глибині палі має наступні характеристики: φ = 30° (пісок); K = 600 тс/м^4; a_1 = 6.0 тс/м^3; a_0 = 0. Коефіцієнт деформації $\alpha_д$= 0.337 м$^{-1}$. Наведена довжина заглибленої частини палі $\bar{l} = l \cdot \alpha_д \approx 4$..



Малюнок 21 Розрахункова схема до прикладу розрахунку 5

Розглянемо чотири варіанти розрахунку свайної стінки.

1) Розрахунок в пружній стадії за методикою, викладеною в «Довіднику проектувальника» [49], без урахування додаткового навантаження g.

Відповідно до «Керівництва» [48], побудуємо епюру моментів від зовнішніх навантажень Q_0 = 12 тс, M_0 = 24 тс · м, по глибині занурення палі (Мал. 22 а). У цьому випадку максимальний момент дорівнює:

$$Mmax = 46.15 \text{ тс} \cdot \text{м}.$$

Що відповідає глибині $z = \dfrac{1.12}{\alpha_g} = 3.32$ м.

2) Розрахунок в пружній стадії з урахуванням додаткового навантаження g.

Використовуючи рішення А.С. Маліева [42], знайдемо моменти від додаткового навантаження g = 4 тс/м^2 (Мал. 22 б) по висоті палі. Підсумовуючи величини отриманих моментів зі знайденими розрахунком по «Керівництву» [48]. Визначимо максимальний момент по результуючій епюрі (Мал. 22 в).

$$z = 3.32 \text{ м}; \text{ Mmax} = 54.76 \text{ тс} \cdot \text{м}.$$

3) Розрахунок за граничним станом системи «паля-грунт» без урахування додаткового навантаження g.

За формулами (74, 75, 76) знайдемо:

$$t = 2 \text{ м}; \text{ MT} = 40 \text{ тс} \cdot \text{м} < \text{Mmax} = 46.15 \text{ тс} \cdot \text{м}.$$

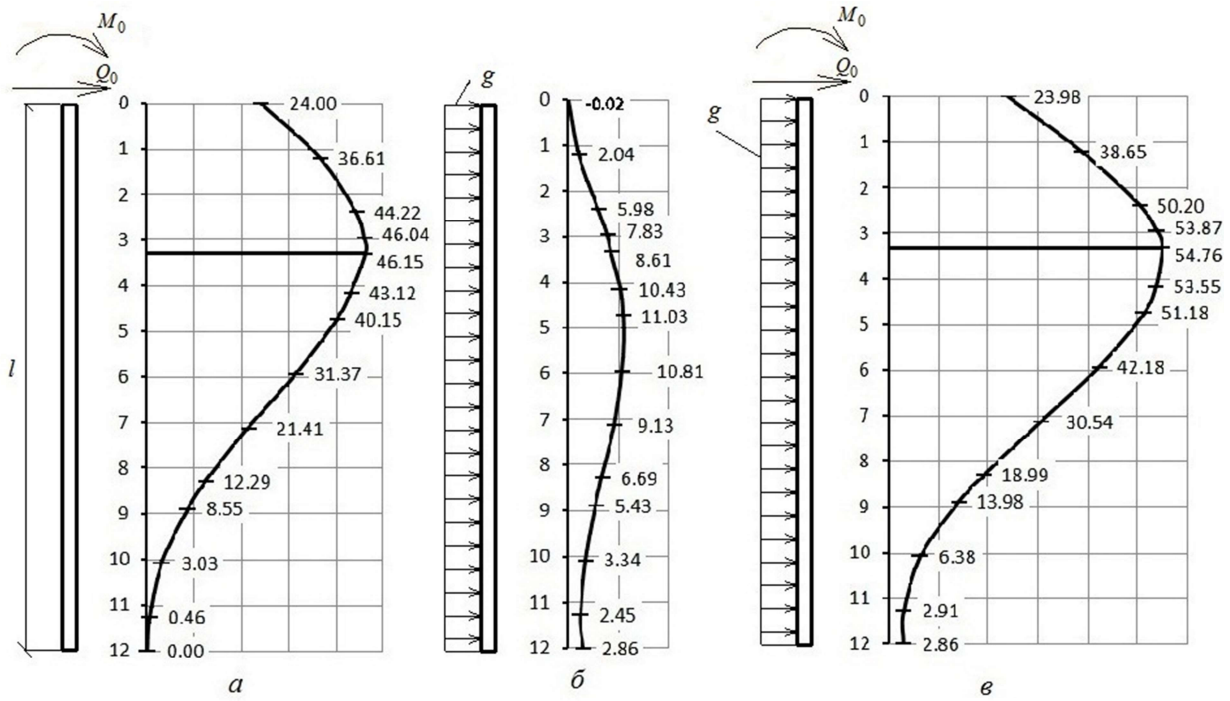
4) Розрахунок за граничним станом з урахуванням додаткового навантаження g.

За формулою (75) знайдемо

$$t = \frac{1}{6}(4 + \sqrt{16 + 2 \cdot 12 \cdot 6}) = 2.775 \text{ м},$$

потім за формулою (76) при $b_p = D$ = 1 м и g = 4 тс/м^2 отримаємо

$$M_T = 24 + 12 \cdot 2.775 + 4 \cdot \frac{2.775^2}{2} - \frac{6 \cdot 2.775^3}{6} = 51.33 \text{ тс} \cdot \text{м}.$$



Малюнок 22. Епюри згинальних моментів в підпірної стінки
а) по «Керівництву» [48]; б) з рішення А.С. Маліева [42]
від навантаження g; в) сумарна

Виконаний аналіз роботи свайної підпірної стінки показав, що рекомендована в «Довіднику проектувальника» [49] методика розрахунку, не враховує наявність поперечної навантаження по довжині палі, переоцінює реальну несучу здатність палі, що може призводити до аварійних ситуацій. В даному прикладі це становить 18%.

1.3.3. Вигин палі в грунті, що має повзучість

Повзучість Вінклерової основи призводить до нерівномірної зміни контактних напружень фундаментів і горизонтально навантажених паль, а також до нерівномірного зростанню деформацій конструкцій в часі.

У початковий момент навантаження конструкції зв'язок між контактним тиском і осадкою деякої точки підошви фундаменту V_0 описується елементарної лінійної залежністю типу закону Гука

$$V_0 = \frac{\sigma_0}{C_0}, \tag{72}$$

де σ_0 - контактне напруження, тс/м^2;

C_0 - коефіцієнт постелі, тс/м^3.

При тривалому навантаженні фундаментів (паль) на основі, що володіє реологическими властивостями, зв'язок величин V_t , σ_t і C_t істотно ускладнюється і описується інтегральними рівняннями ряду теорій пружно-повзучого тіла (старіння, спадковості і ін.), які враховують закони зміни контактних напружень і властивостей матеріалів в часі.

При розробці практичних методів розрахунку значні спрощення досягаються за рахунок подання інтегральних реологічних рівнянь в алгебраїчній формі.

Одним із прийомів, що спрощують рішення контактних задач, може бути запропонований І.Я. Лучковським метод «тимчасового коефіцієнта постелі» [45], [51], який видається для будь-якого моменту часу t у вигляді

$$C_t^i = \frac{\sigma_t^i}{V_t^i}, \tag{73}$$

де C_t^i – тимчасовий коефіцієнт постелі в довільній точці і контакту в момент часу *t*, тс/м^3;

σ_t^i - контактне напруження в точці і в момент часу *t*, тс/м^2;

V_t^i - деформація (осаду) і-тої точки в момент часу *t*, м.

Приймаючи різні законами зміни контактних напружень в часі, в роботі [45] було отримано кілька видів алгебраїчних реологічних рівнянь лінійної і нелінійної повзучості.

Наприклад, для нелінійної повзучості з використанням теорії старіння при функції нелінійності виду

$$f(\sigma) = a \cdot \sigma + \beta \cdot \sigma^2 \tag{74}$$

і прийнятті постійного пружно-миттєвого коефіцієнта постелі $C_\tau = C_0$ отримані реологічні рівняння

при a=1:

$$2 \cdot C_0 \cdot V_t = \varphi_t \cdot \left[\sigma_0 + \sigma_t \cdot \left(1 + \frac{2}{\varphi_t} + 2 \cdot \beta \cdot \sigma_0 \right) \right], \tag{75}$$

при $a=0$:

$$C_0 \cdot V_t = \sigma_t \cdot (1 + \beta \cdot \varphi_t \cdot \sigma_0), \tag{76}$$

де φ_t - характеристика повзучості.

При $a=1$ і $\beta = 0$ з (75) приходимо до реологічних рівняннь лінійної повзучості, отриманих раніше Чжан Чжун-яо с використанням теореми про повну загальну середню

$$2 \cdot C_0 \cdot V_t = \varphi_t \cdot \left[\sigma_0 + \sigma_t \cdot \left(1 + \frac{2}{\varphi_t} \right) \right]. \tag{77}$$

Диференціальне рівняння вигину балки на пружно-повзучій Вінклеровій основі в загальному випадку змінної жорсткості основи має вигляд

$$EI \cdot V_t^{IV} + C_t^z \cdot V_t^z = q(z). \tag{78}$$

Використовуючи залежність (73) для тимчасового коефіцієнта постелі C_t і алгебраїчні реологічні рівняння лінійної і нелінійної повзучості (75), (76), (77), замінивши в (78) $C_t \cdot V_t$ на σ_t, Отримаємо різні диференціальні рівняння, що враховують повзучість Вінклерової основи.

1. При лінійній повзучості з виразу (77) знайдемо σ_t

$$\sigma_t = C_t \cdot V_t = \frac{2 \cdot C_0 \cdot V_t - \varphi_t \cdot \sigma_0}{2 + \varphi_t},$$

а потім диференціальне рівняння

$$EI \cdot V_t^{IV}(z) + \frac{C_0^{\ z}}{(1 + 0.5 \cdot \varphi_t)} \cdot V_t^z = q(z) + \frac{\varphi_t \cdot \sigma_0^{\ z}}{(2 + \varphi_t)}, \tag{79}$$

де $q(z)$ - інтенсивність зовнішнього навантаження, тс / м

При нелінійної повзучості і $a=1$ (80) знайдемо спочатку σ_t

$$\sigma_t = \frac{2 \cdot C_0 \cdot V_t - \sigma_0 \cdot \varphi_t}{(\varphi_t + 2 + 2 \cdot \beta \cdot \sigma_0 \cdot \varphi_t)},$$

а потім саме рівняння

$$EI \cdot V_t^{IV}(z) + \frac{C_0^{\,z}}{1 + 0.5 \cdot \varphi_t + \beta \cdot \sigma_0^{\,z} \cdot \varphi_t} \cdot V_t^{\,z} = q(z) + \frac{\sigma_0^{\,z}}{1 + \frac{2}{\varphi_t} + 2 \cdot \beta \cdot \sigma_0^{\,z}}. \qquad (80)$$

3. При нелінійній повзучості і $a = 0$ з (76) знайдемо

$$\sigma_t = \frac{C_0 \cdot V_t}{(1 + \beta \cdot \sigma_0 \cdot \varphi_t)},$$

а потім отримаємо рівняння вигину балки (палі)

$$EI \cdot V_t^{IV}(z) + \frac{C_0^{\,z}}{1 + \beta \cdot \sigma_0^{\,z} \cdot \varphi_t} \cdot V_t^{\,z} = q(z). \qquad (81)$$

Розглядаючи структуру отриманих диференціальних рівнянь (79), (80) і (81), відзначимо, що враування повзучості основи може бути здійснено після отримання пружно-миттєвого рішення при $t = 0$.

Потім використовується в лівій частині рівняння нове значення коефіцієнта пропорційності, що враховує φ_t , початкові значення коефіцієнта постелі $C_0(z)$ і змінні по довжині z початкові напруги відпору грунту $\sigma_0(z)$. Крім того, в праву частину рівнянь можуть включатися члени, що враховують додаткове навантаження, нерівномірно розподілене вздовж стрижня, що залежить від тривалості навантаження і пружно-миттєвого розподілу контактного тиску.

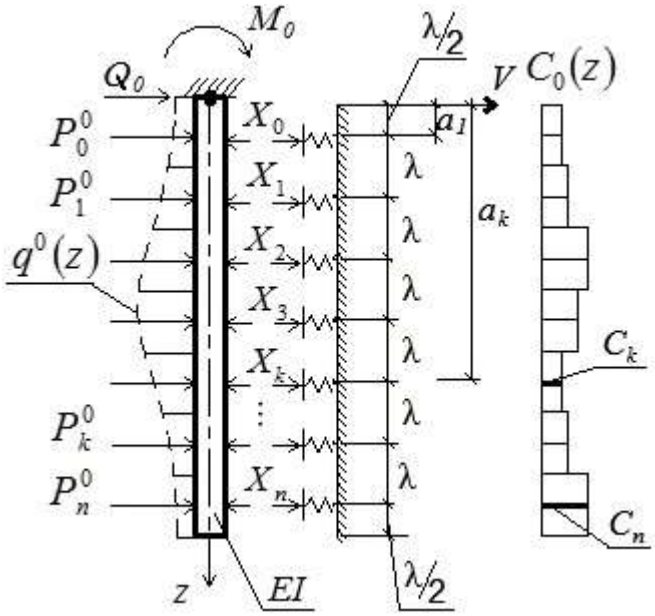
Відзначимо, що, на відміну від рівнянь, отриманих в роботі [45], представлені вище рівняння (79), (80), (81) враховують довільний закон розподілу коефіцієнта постелі $C_0(z)$ по довжині конструкції і змінні вздовж осі z додаткові вантажні члени.

1.3.3.1. Розрахунок паль за допомогою канонічних рівнянь звичайного вигляду

Найбільш зручний в рішенні отриманих рівнянь виявляється метод Б.М. Жемочкіна [40], який вже раніше був застосований декількома авторами [52], [53] до розрахунку конструкцій на пружній Вінклеровій основі.

1.3.3.1.1. Пружно-миттєва стадія

При змінному законі $C_0(z)$ по довжині балки в пружні стадії використовується змішаний метод (Мал. 23), описаний в п. 1.1.



Малюнок 23. Розрахункова схема палі в пружній стадії роботи при поперечному навантаженні розподіленим навантаженням

Необхідно врахувати, що зовнішнє розподілене навантаження $q(z)$ замінюється зосередженими силами P_i^0, А це дозволяє вантажні переміщення від цих сил виразити у вигляді

$$\Delta_{kp}^0 = \frac{\lambda^3}{6 \cdot EI} \cdot \sum_1^n P_i^0 \cdot \overline{w_{ki}}. \qquad (82)$$

1.3.3.3. Стадія тривалого навантаження

Приймається умова сталості розподіленого навантаження $q(z)$ і зосереджених спочатку координат навантажень Q_0 і M_0. При тривалому навантаженні змінюється (зростає) характеристика повзучості основи φ_t, що призводить до зміни жорсткості основи і появі уздовж балки додаткового розподіленого навантаження $g_t(z)$.

Розглянемо запропоновані варіанти врахування лінійної і нелінійної повзучості грунту (або іншого матеріалу) основи.

а) Лінійна повзучість основи

Розглядаючи отримане вище диференціальне рівняння (79), відзначимо, що при лінійної повзучості Вінклерової основи жорсткість його елементів в будь-який час навантаження t, по всій опорній поверхні знижується в одну і ту ж кількість разів і залежить тільки від тривалості дії постійного навантаження

$$C_t(z) = \frac{C_0(z)}{1 + 0.5 \cdot \varphi_t}. \tag{83}$$

Крім того, як видно з рівняння (79), врахування повзучості основи призводить до появи додаткового навантаження $g_t(z)$, Що залежить від пружно-миттєвого розподілу відсічі $\sigma_0(z)$ і тривалості навантаження

$$g_t(z) = \sigma_0(z) \cdot \frac{\varphi_t}{(2 + \varphi_t)}. \tag{84}$$

Це навантаження замінюється системою зосереджених сил P_i^t.

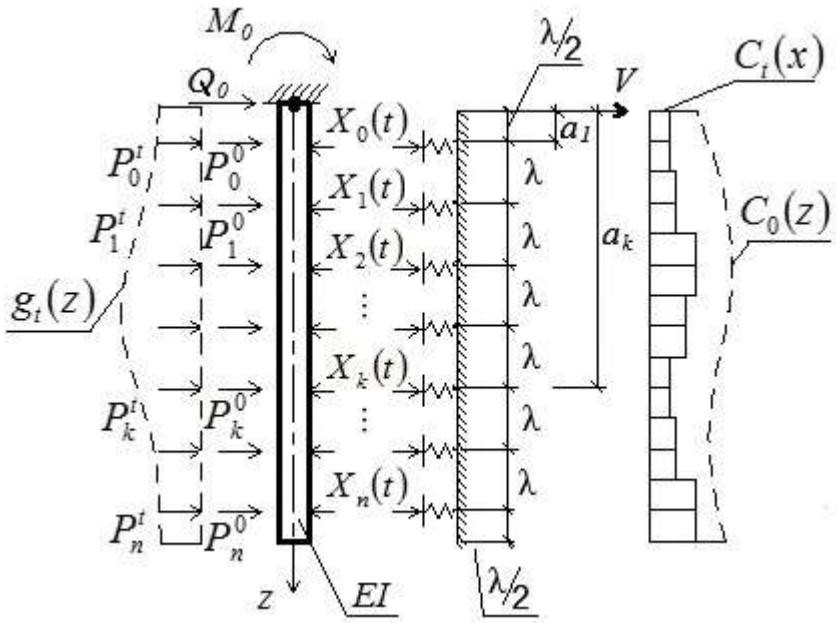
На основи вищесказаного розрахункова схема палі в стадії лінійної повзучості має вигляд (Мал. 24).

Вантажні переміщення від додаткового навантаження $g_t(x)$ визначаються за формулою (85), аналогічно (82)

$$\Delta_{kp}^t = \frac{\lambda^3}{6 \cdot EI} \cdot \sum_1^n P_i^t \cdot \overline{w_{ki}}. \tag{85}$$

Сумарні вантажні переміщення від сил P_i^0 і P_i^t визначаються за формулою

$$\Delta_{kp} = \frac{\lambda^3}{6 \cdot EI} \cdot \sum_1^n \left(P_i^0 + P_i^t\right) \cdot \overline{w_{ki}}. \tag{86}$$



Малюнок 24. Розрахункова схема палі при урахуванні лінійної повзучості основи

б) Нелінійна повзучість основи $X_k(t)$

- Спочатку розглянемо основи при функції нелінійності що описується закономірністю (74) при $a=0$, тобто при

$$f(\sigma)=\beta\cdot\sigma^2, \tag{87}$$

яка веде до диференціальних рівнянь вигину палі (81).

Зручність використання цього рівняння очевидна, тому що в правій частині вантажна функція $q(z)$ не змінюється в часі. Тому вантажні члени не змінюються

$$\Delta_{kp}^0=\Delta_{kp}^t. \tag{88}$$

Що ж стосується коефіцієнта постелі $C_t(z)$, рівного

$$C_t(z)=\frac{C_0(z)}{1+\beta\cdot\varphi_t\cdot\sigma_0(z)}, \tag{89}$$

то він нелінійно змінюється по довжині конструкції, так як залежить від змінного розподілу відпору грунту уздовж палі при пружно-миттєвому навантаженні. Тому (14), (15) і (16) в даному випадку слід записати у вигляді

$$\left.\begin{aligned} V_{kk}^{t} &= \frac{1}{\lambda \cdot b \cdot C_k^t}; \\ \delta_{kk}^{t} &= \frac{\lambda^3}{6 \cdot EI} \cdot \left(\gamma_k^t + \overline{\omega_{kk}}\right); \\ \gamma_k^t &= \frac{6 \cdot EI}{b \cdot \lambda^4 \cdot C_k^t}. \end{aligned}\right\}. \tag{90}$$

Розрахункова схема палі в цьому випадку залишається аналогічною розрахунковій схемі в пружно-миттєвої стадії (Мал. 23), де коефіцієнти постелі замінені на C_i^t.

Далі розглянемо основу при $a=1$ і $f(\sigma)$ рівну

$$f(\sigma) = \sigma \cdot (1 + \beta \cdot \sigma), \tag{91}$$

на основі якої отримано диференціальне рівняння (80).

Розрахункова схема палі в даному випадку збігається зі схемою, представленою на Мал. 24.

При цьому вираз для тимчасового коефіцієнта постелі $C_t(z)$ і для додаткового навантаження $g_t(z)$ змінюються:

$$C_t(z) = \frac{C_0(z)}{1 + 0.5 \cdot \varphi_t + \varphi_t \cdot \beta \cdot \sigma_0(z)}, \tag{92}$$

$$g_t(z) = \frac{\sigma_0(z)}{1 + 0.5 \cdot \varphi_t + 2 \cdot \beta \cdot \sigma_0(z)}. \tag{93}$$

1.3.3.1.3. Система канонічних рівнянь стадії тривалого навантаження паль на пружно-повзучій основі Вінклера

Система канонічних рівнянь при врахуванні повзучості основи за формою збігається з пружно-миттєвим рішенням:

$$A\cdot\begin{vmatrix} X_0(t) \\ X_1(t) \\ \dots \\ X_n(t) \\ \omega_0(t) \\ \varphi_0'(t) \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} -\Delta_{0p}(t) \\ -\Delta_{1p}(t) \\ \dots \\ -\Delta_{np}(t) \\ \sum P \\ \sum M \end{vmatrix}, \tag{94}$$

де А - квадратна матриця:

$$A = \begin{vmatrix} \delta_{00}^{(t)} & \delta_{01} & \dots & \delta_{0n} & 1 & a_0 \\ \delta_{10} & \delta_{11}^{(t)} & \dots & \delta_{1n} & 1 & a_1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \delta_{n0} & \delta_{n1} & \dots & \delta_{nn}^{(t)} & 1 & a_n \\ 1 & 1 & \dots & 1 & 0 & 0 \\ a_0 & a_1 & \dots & a_n & 0 & 0 \end{vmatrix}, \tag{95}$$

відзначимо, що отримуються з рішення системи (95) значення $\omega_0(t)$ і $\varphi_0'(t)$ збільшені в $\dfrac{6\cdot EI}{\lambda^3}$ раз.

Далі представимо запис одиничних переміщень δ_{ki} в різних випадках врахування лінійної і нелінійної повзучості основи.

Перш за все, відзначимо, що в будь-якому випадку

$$\delta_{ki} = \overline{w_{ki}} \quad (k \neq i).$$

У разі визначення $\delta_{kk}(t)$ розглянемо різні варіанти диференціальних рівнянь.

а) Лінійна повзучість - рівняння (79).

У лівій частині рівняння використовується коефіцієнт постелі

$$C_{tk} = \frac{C_0^{\,k}}{1+0.5\cdot\varphi_t}, \tag{96}$$

при цьому одиничне переміщення $\delta_{kk}(t)$ одно

$$\delta_{kk}(t) = \frac{1}{\lambda\cdot b\cdot C_{tk}} + w_{kk} = \frac{1+0.5\cdot\varphi_t}{\lambda\cdot b\cdot C_0^k} + \frac{\lambda^3}{6\cdot EI}\cdot\overline{w_{kk}},$$

що приводиться до вигляду

$$\delta_{kk}(t)=\frac{\lambda^3}{6\cdot EI}\cdot\left[\gamma_k^0\cdot(1+0.5\cdot\varphi_t)+\overline{w_{kk}}\right], \tag{97}$$

де γ_k^0 визначається за формулою (15).

б) Нелінійна повзучість - рівняння (80).

Аналогічним шляхом неважко знайти

$$\delta_{kk}(t)=\frac{\lambda^3}{6\cdot EI}\cdot\left[\gamma_k^0\cdot\left(1+\frac{\varphi_t}{2}+\frac{\beta\cdot\varphi_t}{b\cdot\lambda}\cdot X_k^0\right)+\overline{w_{kk}}\right]. \tag{98}$$

в) При використанні рівняння (81) нелінійної повзучості таким же шляхом отримаємо

$$\delta_{kk}(t)=\frac{\lambda^3}{6\cdot EI}\cdot\left[\gamma_k^0\cdot\left(1+\frac{\beta\cdot\varphi_t}{b\cdot\lambda}\cdot X_k^0\right)+\overline{w_{kk}}\right]. \tag{99}$$

1.3.3.1.4. Графічне представлення алгебраїчних реологічних рівнянь деформування Вінклерової основи конструкцій

Вище була використана алгебраїчна форма реологічних рівнянь лінійної і нелінійної повзучості теорії «старіння» (75), (76) і (77), отримана в роботі [45] при описі затухаючого зростання, або падіння контактних напружень σ_τ залежностями виду

$$\left.\begin{aligned}&\text{а)}\ \sigma_\tau=\sigma_0\pm\rho\cdot\varphi_\tau;\\&\text{б)}\ \sigma_\tau=\frac{\sigma_0}{1\pm\rho\cdot\varphi_\tau}.\end{aligned}\right\}. \tag{100}$$

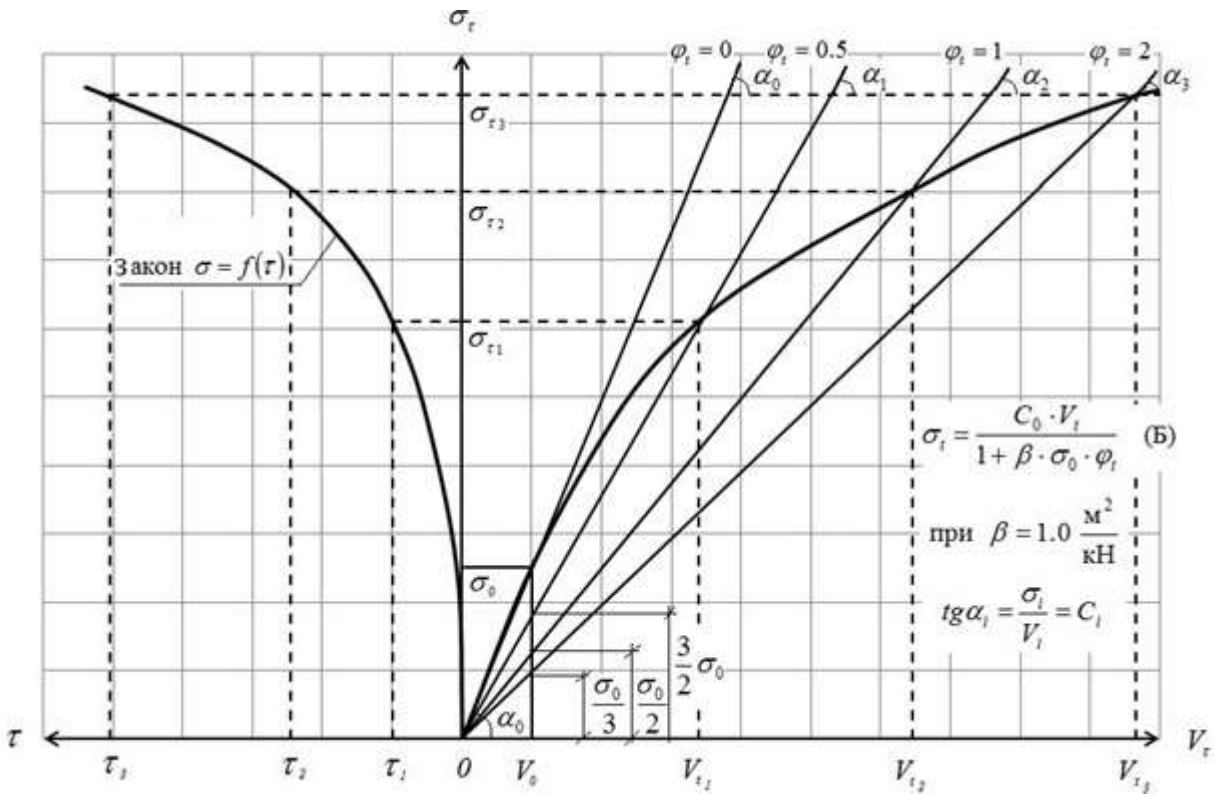
Так як при врахуванні повзучості матеріалів вводиться координата часу τ, від якої залежить характеристика повзучості φ_τ, осадка V_τ і напруги σ_τ в окремих точках контакту, то становить інтерес графічний вигляд різних варіантів алгебраїчних реологічних рівнянь, прийнятих в даній роботі.

Так на Мал. 25 показано графічно рівняння (76), яке описує затухаюче зростання контактних напружень при врахуванні нелінійної повзучості Вінклерової основи при функції нелінійності $f(\sigma)=\beta\cdot\sigma^2$.

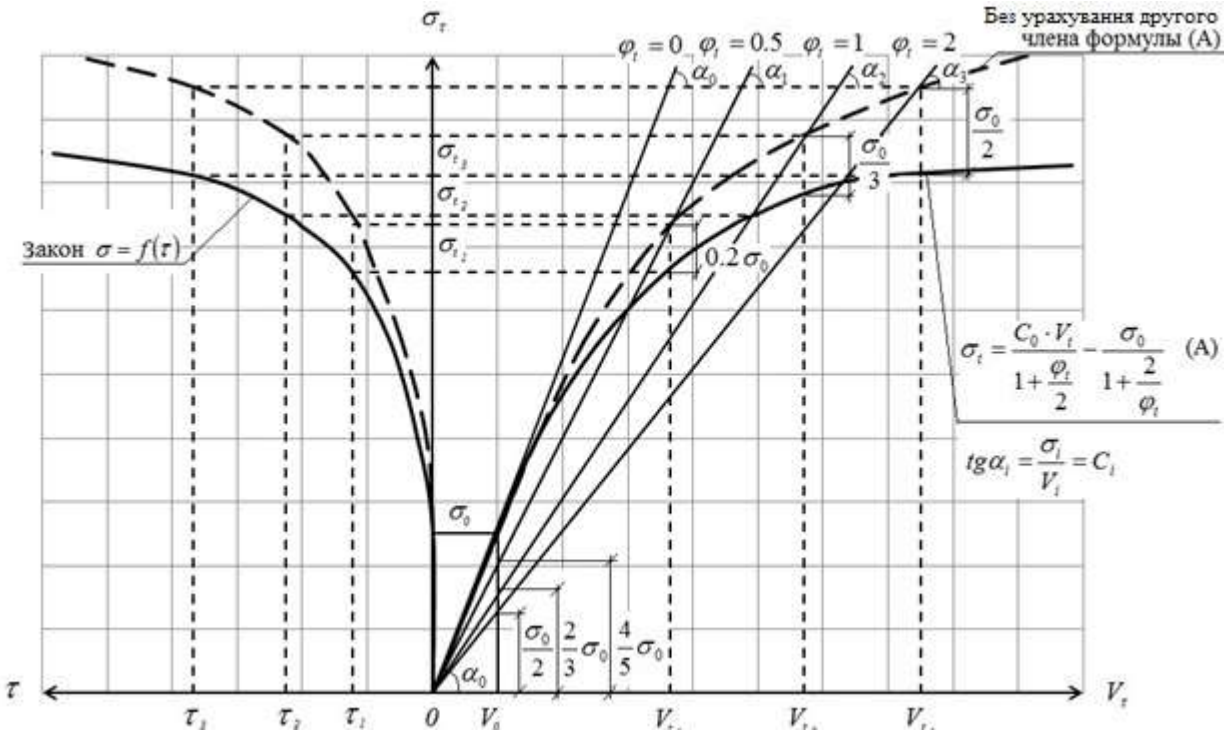
Прийняття трьох координатних осей σ_τ, V_τ і τ дозволило простежити одночасно за розвитком осадок при згасаючому зростанні напруги σ_τ і за зміною самих контактних напружень в часі τ.

На Мал. 26 і 27 представлені графіки затухаючого зростання і затухаючого падіння контактних напружень в деяких точках Вінклерової основи при врахуванні лінійної повзучості по залежності (77).

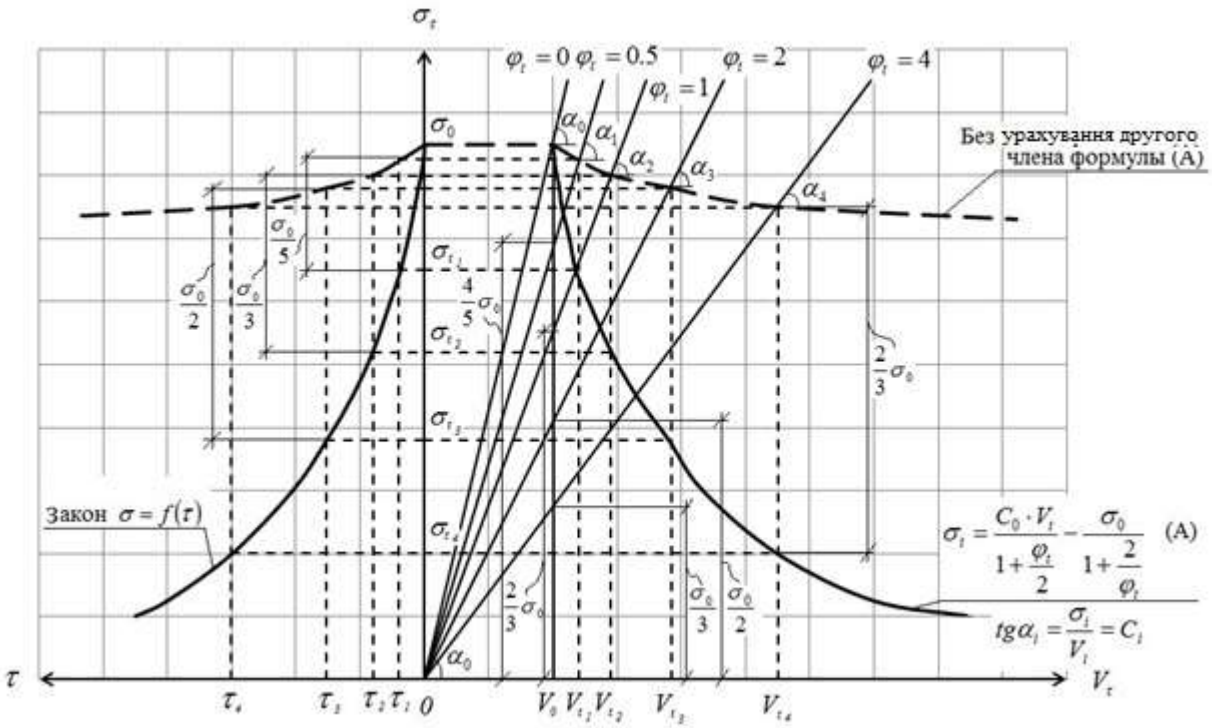
Так як ця залежність містить два члена, перший з яких містить осадку основи V_τ і характеристику повзучості φ_τ, а другий член формули (77) залежить тільки від початкової пружно-миттєвої напруги σ_0 і характеристики φ_τ, то представлені графіки містять в пунктирному вигляді (криві $\sigma_\tau - \tau$ і $\sigma_\tau - V_\tau$) додаткові відомості про зміну σ_τ без урахування другого члена формули (77).



Малюнок 25. Графіки функцій, що відображують згасаюче зростання контактних напружень при нелінійній повзучості основи Вінклера (Б)



Малюнок 26. Графіки функцій, що відображують загасаюче зростання контактних напружень при лінійної повзучості основи Вінклера (А)



Малюнок 27. Графіки функцій, що відображують згасаюче падіння контактних напружень при лінійної повзучості основи Вінклера (А)

З цих графіків видна істотна роль другого члена в розвитку напружено-деформованого стану палі, зануреної в пружно-повзучу основу.

Як було показано раніше в розділі 3.1.2 [формули (83), (84)] урахування другого члена реологичного рівняння приводить до появи додаткового навантаження $g_t(z)$, що впливає на розвиток деформації в часі.

1.3.3.2 Розрахунок горизонтально навантажених паль, затиснених в ростверк, з урахуванням тривалості деформування

Стосовно до загальноприйнятої моделі основи з лінійно зростаючим пружно-миттєвим коефіцієнтом постелі $C_0^{\ z}$, уявімо закон деформування грунту при тривалому завантаженні, використовуючи передумови теорії «старіння» у вигляді [45]

$$y_t^{\ z} = \frac{\sigma_t^{\ z}}{C_0^{\ z} \cdot b_p} + \frac{\left(\sigma_0^{\ z} + \sigma_t^{\ z}\right)}{2 \cdot C_0^{\ z} \cdot b_p} \varphi_t, \tag{101}$$

де

$$C_0^{\ z} = K \cdot z; \tag{102}$$

φ_t - характеристика повзучості підстави;

b_p - розрахункова ширина палі, м;

K - пружно-миттєвий коефіцієнт пропорційності, тс / М4;

$\sigma_0^{\ z}$, $\sigma_t^{\ z}$ - навантаження від палі на одиницю довжини підстави в довільний момент часу $\tau = (0, t)$, тс/м^2

Уявімо вихідне диференціальне рівняння вигину палі при тривалому навантаженні в такому вигляді

$$EI \cdot \frac{\partial^4 y_t^z}{\partial z^4} + \sigma_t^{\ z} = 0, \tag{103}$$

потім з (101) знайдемо σ_t^z:

$$\sigma_t^{\ z} = \frac{2 \cdot C_0^{\ z} \cdot b_p \cdot y_t^{\ z} - \sigma_0^{\ z} \cdot \varphi_t}{2 + \varphi_t}. \tag{104}$$

Підставивши (104) в (103), отримаємо вихідне рівняння вигину палі

$$\frac{\partial^4 y_t^z}{\partial z^4}+\frac{2\cdot K\cdot b_p}{(2+\varphi_t)\cdot EI}\cdot z\cdot y_t{}^z=\frac{\varphi_t\cdot b_p}{(2+\varphi_t)\cdot EI}\cdot\sigma_0{}^z. \qquad (105)$$

Провівши заміну змінної, після ряду перетворень знайдемо

$$\frac{\partial^4 y_t^{\bar z}}{\partial \bar z^4}+\overline{z_t}\cdot y_t{}^{\bar z}=\frac{\varphi_t\cdot\beta_t}{2\cdot K\cdot b_p}\cdot\sigma_0{}^{\bar z}, \qquad (106)$$

Де $\beta_t=\sqrt[5]{\frac{2\cdot K\cdot b_p}{(2+\varphi_t)\cdot EI}}$; $\overline{z_t}=\beta_t\cdot z$.

Пружно-миттєве рішення для паль, затиснених в ростверк, відповідно до «Керівництва» [48], може бути отримано із загального випадку завантаження палі в рівні поверхні силою Q^0 і моментом M^0 при рівності нулю кута повороту φ^0 на початку координат.

Однак, в даному випадку, рішення при $t=0$ можна спростити.

Використовуючи рішення І.В. Урбана [54], при $\varphi^0=0$ отримаємо в пружній стадії

$$\left.\begin{aligned}
y^z&=y^0\cdot A_1^z+\frac{M^0}{\beta_0^2\cdot EI}\cdot C_1^z+\frac{Q^0}{\beta_0^3\cdot EI}\cdot D_1^z;\\
-\frac{\varphi^z}{\beta_0}&=y^0\cdot A_2^z+\frac{M^0}{\beta_0^2\cdot EI}\cdot C_2^z+\frac{Q^0}{\beta_0^3\cdot EI}\cdot D_2^z;\\
\frac{M^z}{\beta_0^2\cdot EI}&=y^0\cdot A_3^z+\frac{M^0}{\beta_0^2\cdot EI}\cdot C_3^z+\frac{Q^0}{\beta_0^3\cdot EI}\cdot D_3^z;\\
\frac{Q^z}{\beta_0^3\cdot EI}&=y^0\cdot A_4^z+\frac{M^0}{\beta_0^2\cdot EI}\cdot C_4^z+\frac{Q^0}{\beta_0^3\cdot EI}\cdot D_4^z.
\end{aligned}\right\}. \qquad (107)$$

Беручи для нижнього кінця палі умову $Q^H=0$; $M^H=0$, з двох нижніх рівнянь (107) отримуємо

$$\left.\begin{aligned}
M^0&=-\frac{Q^0}{\beta_0}\cdot V^H;\\
y^0&=\frac{Q^0}{\beta_0^3\cdot EI}\cdot T^H,
\end{aligned}\right\}, \qquad (108)$$

де V^H, T^H - нові функції, які залежать від довжини палі H.

$$\left.\begin{aligned} V_0^H &= \frac{A_3^H \cdot D_4^H - A_4^H \cdot D_3^H}{A_3^H \cdot C_4^H - A_4^H \cdot C_3^H}; \\ T_0^H &= \frac{C_3^H \cdot D_4^H - C_4^H \cdot D_3^H}{A_3^H \cdot C_4^H - A_4^H \cdot C_3^H}. \end{aligned}\right\}. \tag{109}$$

Таким чином, з (108) маємо можливість знайти $M^{\max} = M^0$ і $y^{\max} = y^0$, а $\varphi^0 = 0$ і $Q^{\max} = Q^0$ задані як основні параметри.

Далі з системи (107) і (108) знайдемо величини деформацій і зусиль в пружній стадії

$$\left.\begin{aligned} y^z &= \frac{Q^0}{\beta_0^3 \cdot EI} \cdot \left(A_1^z \cdot T_0^H - C_1^z \cdot V_0^H + D_1^z\right); \\ -\varphi^z &= \frac{Q^0}{\beta_0^2 \cdot EI} \cdot \left(A_2^z \cdot T_0^H - C_2^z \cdot V_0^H + D_2^z\right); \\ M^z &= \frac{Q^0}{\beta_0} \cdot \left(A_3^z \cdot T_0^H - C_3^z \cdot V_0^H + D_3^z\right); \\ Q^z &= Q^0 \cdot \left(A_4^z \cdot T_0^H - C_4^z \cdot V_0^H + D_4^z\right). \end{aligned}\right\}. \tag{110}$$

Тоді розподіл контактних напружень в пружній стадії, відповідно до закономірністі (102) і рішенню (110), визначається залежністю

$$\sigma_0^{\,z} = \beta_0 \cdot \bar{z} \cdot Q^0 \cdot \left(A_1^z \cdot T^H - C_1^z \cdot V^H + D_1^z\right), \tag{111}$$

де $\beta_0 = \sqrt[5]{\dfrac{K \cdot b_p}{EI}}$, $\bar{z} = \beta_0 \cdot z$.

Відповідно до виразум (111) вихідне диференціальне рівняння (106) отримає такий вид

$$\frac{\partial^4 y\left(\bar{z},t\right)}{\partial \bar{z}^4} + \bar{z}_t y_t^{\,x} = \frac{\varphi_t}{2K \cdot b_p} \beta_0 \beta_t \cdot \bar{z} \cdot Q_0 \left(A_1^z \cdot T^H - C_1^z \cdot V^H + D_1^z\right). \tag{112}$$

Рішенням цього рівняння є сума часткового рішення «u» і спільного рішення «s».

Часткове рішення шукаємо у вигляді

$$u = r_1 \cdot A_1^0 + r_2 \cdot C_1^0 + r_3 \cdot D_1^0. \tag{113}$$

Диференціюючи (113), отримуємо

$$\frac{\partial^4 u}{\partial z^4} = r_1 \cdot \left(A_1^0\right)^{IV} + r_2 \cdot \left(C_1^0\right)^{IV} + r_3 \cdot \left(D_1^0\right)^{IV}. \qquad (114)$$

Використовуючи функції І.В. Урбана [54], можна показати, що існує співвідношення:

$$\frac{\partial^4 u}{\partial z^4} = -\beta_0 \cdot z \cdot \left(r_1 \cdot A_1^0 + r_2 \cdot C_1^0 + r_3 \cdot D_1^0\right), \qquad (115)$$

а з використанням часткового рішення (113), рівняння (112) набуває наступну форму

$$\left(\beta_t - \beta_0\right)\left(r_1 \cdot A_1^0 + r_2 \cdot C_1^0 + r_3 \cdot D_1^0\right) = \frac{\varphi_t}{2K \cdot b_p} \beta_0^2 \cdot \beta_t \cdot Q_0 \left(A_1^0 \cdot T^H - C_1^0 \cdot V^H + D_1^0\right).$$

(116)

Прирівнюючи коефіцієнти при функціях початкового навантаження A_1^0, C_1^0 і D_1^0, знайдемо значення коефіцієнтів r_i, а потім і часткове рішення

$$u = \frac{\varphi_t}{2 \cdot K \cdot b_p} \cdot \frac{\beta_0^2 \cdot \beta_t}{\left(\beta_t - \beta_0\right)} \cdot Q_0 \cdot \left(A_1^0 \cdot T^H - C_1^0 \cdot V^H + D_1^0\right). \qquad (117)$$

Далі запишемо спільне рішення однорідного рівняння (112) (без правої частини) у вигляді

$$s = N_1 \cdot A_1^t + N_2 \cdot C_1^t + N_3 \cdot D_1^t. \qquad (118)$$

На основі (117) і (118) запишемо рівняння (106)

$$y\left(\bar{z}, t\right) = N_1 A_1^t + N_2 C_1^t + N_3 D_1^t + \frac{\varphi_t \cdot \beta_0^2 \cdot \beta_t}{2K \cdot b_p \left(\beta_t - \beta_0\right)} \cdot Q^0 \cdot \left(A_1^0 T^H - C_1^0 V^H + D_1^0\right).$$

(119)

Довільні постійні отримаємо, використовуючи граничні умови

при $z = 0$: $y'(0,t) = 0$; $y'''(0,t) = \dfrac{Q^0}{EI}$;

при $z = H$: $y''(H,t) = 0$; $y'''(H,t) = 0$.

При цьому врахуємо, що: $A_2 = A_1'$; $A_3 = A_2'$; $A_4 = A_3'$; $B_2 = B_1'$; ...; $D_4 = D_3'$.

Відомо, що функції І.В. Урбана при z = 0 дорівнюють нулю, крім чотирьох, які дорівнюють одиниці: $A_1(0) = B_2(0) = C_3(0) = D_4(0) = 1$.

Далі, диференціюючи рівняння (119) і використовуючи граничні умови, отримаємо систему рівнянь для визначення N_i.

При відсутності повороту в місці защемлення палі в ростверк умова $y'(0,t) = 0$ задовольняється автоматично.

з умови $y'''(0,t) = \dfrac{Q^0}{EI}$ знаходимо $\beta_t^3 \cdot N_3 + \dfrac{\varphi_t \cdot \beta_0^5 \cdot \beta_t}{2 \cdot K \cdot b_p \cdot (\beta_t - \beta_0)} \cdot Q^0 = \dfrac{Q^0}{EI}$,

звідси

$$N_3 = \frac{Q^0}{\beta_t^3 \cdot EI} \cdot \left[1 + \frac{\varphi_t \cdot \beta_t}{2 \cdot (\beta_0 - \beta_t)} \right]. \tag{120}$$

Далі, використовуючи умови роботи нижнього кінця палі, отримаємо з (119) систему рівнянь з двома невідомими N_1 і N_2

$$\left.\begin{aligned} N_1 \cdot A_{3_t}^H + N_2 \cdot C_{3_t}^H &= \frac{\varphi_t}{2 \cdot \beta_0 \cdot \beta_t \cdot (\beta_0 - \beta_t) \cdot EI} \cdot Q^0 \cdot \left(A_{3_0}^H \cdot T_0^H - \right. \\ &\quad \left. - C_{3_0}^H \cdot V_0^H + D_{3_0}^H \right) - N_3 \cdot D_{3_t}^H; \\ N_1 \cdot A_{4_t}^H + N_2 \cdot C_{4_t}^H &= \frac{\varphi_t}{2 \cdot \beta_t^{\,2} \cdot (\beta_0 - \beta_t) \cdot EI} \cdot Q^0 \cdot \left(A_{4_0}^H \cdot T_0^H - \right. \\ &\quad \left. - C_{4_0}^H \cdot V_0^H + D_{4_0}^H \right) - N_3 \cdot D_{4_t}^H. \end{aligned}\right\}. \tag{121}$$

Звернемо увагу на те, що відповідно до рішення (110), при $z = H$ функції, що стоять в дужках системи рівнянь (121), звертаються в нуль, а система спрощується до виду

$$\left.\begin{aligned} N_1 \cdot A_{3_t}^H + N_2 \cdot C_{3_t}^H &= -N_3 \cdot D_{3_t}^H; \\ N_1 \cdot A_{4_t}^H + N_2 \cdot C_{4_t}^H &= -N_3 \cdot D_{4_t}^H. \end{aligned}\right\}. \tag{122}$$

Це дозволяє, з урахуванням (120), знайти довільні постійні N_1 і N_2

$$\left.\begin{aligned} N_1 &= \frac{\left(D_{4_t}^H \cdot C_{3_t}^H - D_{3_t}^H \cdot C_{4_t}^H \right)}{\left(A_{3_t}^H \cdot C_{4_t}^H - A_{4_t}^H \cdot C_{3_t}^H \right)} \cdot \frac{Q^0}{\beta_t^3 \cdot EI} \cdot \left[1 + \frac{\varphi_t}{2 \cdot (\lambda - 1)} \right]; \\ N_2 &= \frac{\left(D_{3_t}^H \cdot A_{4_t}^H - D_{4_t}^H \cdot A_{3_t}^H \right)}{\left(A_{3_t}^H \cdot C_{4_t}^H - A_{4_t}^H \cdot C_{3_t}^H \right)} \cdot \frac{Q^0}{\beta_t^3 \cdot EI} \cdot \left[1 + \frac{\varphi_t}{2 \cdot (\lambda - 1)} \right], \end{aligned}\right\}, \tag{123}$$

де $\lambda = \dfrac{\beta_0}{\beta_t} = \sqrt[5]{1 + \dfrac{\varphi_t}{2}}$.

Відповідно до отриманого вище рішенням (109), (110), вирази для довільних постійних (120) спростяться і матимуть такий вигляд

$$\left.\begin{aligned} N_1 &= \frac{Q^0}{\beta_t^3 \cdot EI} \cdot T_t^H \cdot \left[1 + \frac{\varphi_t}{2 \cdot (\lambda - 1)}\right]; \\ N_2 &= -\frac{Q^0}{\beta_t^3 \cdot EI} \cdot V_t^H \cdot \left[1 + \frac{\varphi_t}{2 \cdot (\lambda - 1)}\right], \end{aligned}\right\}, \tag{124}$$

де функції T_t^H і V_t^H визначаються за формулою (109) при $\beta = \beta_t$;

Використовуючи отримані перетворення, запишемо рішення рівняння (119) у вигляді:

$$y(z,t) = \frac{Q^0}{\beta_0^3 \cdot EI} \cdot \left\{\left[1 + \frac{\varphi_t}{2 \cdot (\lambda - 1)}\right] \cdot \left(A_{1_t}^z \cdot T_t^H - C_{1_t}^z \cdot V_t^H + D_{1_t}^z\right) \cdot \lambda^3 - \right.$$
$$\left. - \frac{\varphi_t}{2 \cdot (\lambda - 1)} \cdot \left(A_{1_0}^z \cdot T_0^H - C_{1_0}^z \cdot V_0^H + D_{1_0}^z\right)\right\}. \tag{2.125}$$

З (125) можна отримати максимальні переміщення при $z = 0$.

$$y(0,t) = \frac{Q^0}{\beta_0^3 \cdot EI} \cdot \left\{\left[1 + \frac{\varphi_t}{2 \cdot (\lambda - 1)}\right] \cdot \lambda^3 \cdot T_t^H - \frac{\varphi_t}{2 \cdot (\lambda - 1)} \cdot T_0^H\right\}. \tag{126}$$

З огляду на те, що значення функцій T_0^H і T_t^H відрізняються незначно, приблизно можемо записати через $T_{cp} = \dfrac{T_0^H + T_t^H}{2}$:

$$y(0,t) \approx \frac{Q^0}{\beta_0^3 \cdot EI} \cdot T_{cp}^H \cdot \left[\lambda^3 + \frac{\varphi_t}{2} \cdot \left(\lambda^2 + \lambda + 1\right)\right], \tag{127}$$

тобто рішення з урахуванням лінійної повзучості основи виходить шляхом множення результату пружно-миттєвого вирішення на коефіцієнт, що враховує реологічні властивості основи.

Взявши послідовно похідні виразу (125), неважко отримати значення $\varphi(z,t)$, $M(z,t)$ і $Q(z,t)$

$$\left.\begin{aligned}
-\varphi(z,t)&=\frac{Q^0}{\beta_0^2\cdot EI}\cdot\left\{\left[1+\frac{\varphi_t}{2\cdot(\lambda-1)}\right]\cdot\left(A_{2_t}^z\cdot T_t^H-C_{2_t}^z\cdot V_t^H+D_{2_t}^z\right)\cdot\lambda^2-\right.\\
&\left.-\frac{\varphi_t}{2\cdot(\lambda-1)}\cdot\left(A_{2_0}^z\cdot T_0^H-C_{2_0}^z\cdot V_0^H+D_{2_0}^z\right)\right\};\\
M(z,t)&=\frac{Q^0}{\beta_0}\cdot\left\{\left[1+\frac{\varphi_t}{2\cdot(\lambda-1)}\right]\cdot\left(A_{3_t}^z\cdot T_t^H-C_{3_t}^z\cdot V_t^H+D_{3_t}^z\right)\cdot\lambda-\right.\\
&\left.-\frac{\varphi_t}{2\cdot(\lambda-1)}\cdot\left(A_{3_0}^z\cdot T_0^H-C_{3_0}^z\cdot V_0^H+D_{3_0}^z\right)\right\};\\
Q(z,t)&=\frac{Q^0}{\beta_0}\cdot\left\{\left[1+\frac{\varphi_t}{2\cdot(\lambda-1)}\right]\cdot\left(A_{4_t}^z\cdot T_t^H-C_{4_t}^z\cdot V_t^H+D_{4_t}^z\right)-\right.\\
&\left.-\frac{\varphi_t}{2\cdot(\lambda-1)}\cdot\left(A_{4_0}^z\cdot T_0^H-C_{4_0}^z\cdot V_0^H+D_{4_0}^z\right)\right\}.
\end{aligned}\right\}. \qquad (128)$$

Встановимо зміни в часі згинального моменту в місці защемлення палі в ростверк. Якщо врахувати, що величини V_0^H і V_t^H практично рівні, то взявши їх середнє значення V_{cp}^H нескладно отримати з (128)

$$-M(0,t)\approx\frac{Q^0}{\beta_0}\cdot V_{cp}^H\cdot\left(\lambda+\frac{\varphi_t}{2}\right). \qquad (129)$$

Більш точно отримаємо з (128)

$$-M(0,t)=\frac{Q^0}{\beta_0}\cdot\left[\left(1+\frac{\varphi_t}{2\cdot(\lambda-1)}\right)\cdot\lambda\cdot V_t^H-\frac{\varphi_t}{2\cdot(\lambda-1)}\cdot V_0^H\right]. \qquad (130)$$

Що ж стосується величин $\varphi(0,t)$ і $Q(0,t)$, то неважко з рішення (128) помітити, що вони не схильні до впливу повзучості основи, тобто

$$\left.\begin{aligned}\varphi(0,t)&=0;\\ Q(0,t)&=Q^0\cdot\end{aligned}\right\}.$$

Крім того, якщо використовувати отримане вище спрощення при $T^H=V^H=S^H$, то істотно спроститься і рішення з урахуванням повзучості основи

$$\left.\begin{aligned}
y(z,t) &= \frac{Q^0}{\beta_0^3 \cdot EI} \cdot \left\{ \left[1 + \frac{\varphi_t}{2 \cdot (\lambda - 1)} \right] \cdot \left(R_{1_t}^z \cdot S^H + D_{1_t}^z \right) \cdot \lambda^3 - \right. \\
&\left. - \frac{\varphi_t}{2 \cdot (\lambda - 1)} \cdot \left(R_{1_0}^z \cdot S^H + D_{1_0}^z \right) \right\}; \\
-\varphi(z,t) &= \frac{Q^0}{\beta_0^2 \cdot EI} \cdot \left\{ \left[1 + \frac{\varphi_t}{2 \cdot (\lambda - 1)} \right] \cdot \left(R_{2_t}^z \cdot S^H + D_{2_t}^z \right) \cdot \lambda^2 - \right. \\
&\left. - \frac{\varphi_t}{2 \cdot (\lambda - 1)} \cdot \left(R_{2_0}^z \cdot S^H + D_{2_0}^z \right) \right\}; \\
M(z,t) &= \frac{Q^0}{\beta_0 \cdot EI} \cdot \left\{ \left[1 + \frac{\varphi_t}{2 \cdot (\lambda - 1)} \right] \cdot \left(R_{3_t}^z \cdot S^H + D_{3_t}^z \right) \cdot \lambda - \right. \\
&\left. - \frac{\varphi_t}{2 \cdot (\lambda - 1)} \cdot \left(R_{3_0}^z \cdot S^H + D_{3_0}^z \right) \right\}; \\
Q(z,t) &= Q^0 \cdot \left\{ \left[1 + \frac{\varphi_t}{2 \cdot (\lambda - 1)} \right] \cdot \left(R_{4_t}^z \cdot S^H + D_{4_t}^z \right) - \right. \\
&\left. - \frac{\varphi_t}{2 \cdot (\lambda - 1)} \cdot \left(R_{4_0}^z \cdot S^H + D_{4_0}^z \right) \right\}.
\end{aligned}\right\}. \qquad (1.131)$$

<u>Приклад розрахунку 6</u>

Оцінимо вплив повзучості основи на величини згинальних моментів, поперечних сил, горизонтальних переміщень і кутів повороту в перетинах палі, затисненої в ростверк, завантаженої горизонтальної силою у поверхні грунту $Q^0 = 10$тс, за таких умов:

EI= 6.2 · 103 тс · м ^{2}; b =0.4 м; H = 6м; розрахункова ширина палі $b_p = 1.1$ м. Грунт характеризується коефіцієнтом пропорційності: К = 700 тс / м^4.

Розглянемо рішення при декількох значеннь характеристики повзучості: $\varphi_t = 0 \div 3$.

1. Обчислюємо коефіцієнти деформації пружно-миттєвого і тривалого завантаження

$$\beta_0 = \sqrt[5]{\frac{K \cdot b_p}{EI}} = \sqrt[5]{\frac{700 \cdot 1.1}{6.2 \cdot 10^3}} = \sqrt[5]{0.1242} = 0.6589 \text{м}^{-1}.$$

підставляючи в $\beta_t = \sqrt[5]{\dfrac{2 \cdot K \cdot b_p}{(2+\varphi_t) \cdot EI}}$ характеристики повзучості $\varphi_t = 0; 1; 2; 3$,

Відповідно визначимо $\beta_t = 0.6589;\ 0.6076;\ 0.6736;\ 0.5486$; а зі співвідношення $\lambda = \dfrac{\beta_0}{\beta_t}$ відповідно отримаємо: 1; 1.09; 1.15; 1.

Пружно-миттєве переміщення голови палі.

По (119) і (118) при $H_0 = \beta_0 \cdot H \approx 4$:

$$T_0^H = \frac{C_3^H \cdot D_4^H - C_4^H \cdot D_3^H}{A_3^H \cdot C_4^H - A_4^H \cdot C_3^H} = 0.9396;$$

$$V_0^H = \frac{A_3^H \cdot D_4^H - A_4^H \cdot D_3^H}{A_3^H \cdot C_4^H - A_4^H \cdot C_3^H} = 0.9260;$$

$$y^0 = \frac{Q^0}{\beta_0^3 \cdot EI} \cdot T^H = \frac{10}{0.6589^3 \cdot 6.2 \cdot 10^3} \cdot 0.9396 = 0.5298 \cdot 10^{-2} \text{ м};$$

$$M^0 = -\frac{Q^0}{\beta_0} \cdot V^H = -\frac{10}{0.6589} \cdot 0.9260 = -14.053 \text{ тс} \cdot \text{м}.$$

3. Тривале навантаження (детальний розрахунок наведемо лише при характеристиці повзучості $\varphi_t = 3$). Цікавим є порівняти результати точного і наближеного рішень.

а) Величину прогину отримаємо з (126), при $H_t = \beta_t \cdot H = 3.5$:

$$T_t^H = \frac{62.81396}{64.7687} = 0.97282;$$

$$V_t^H = \frac{60.4747}{64.7687} = 0.9337;$$

$$y(0,t) = \frac{10}{0.6589^3 \cdot 6.2 \cdot 10^3} \cdot \left\{ \left[1 + \frac{3}{2 \cdot 0.2} \right] \cdot 1.2^3 \cdot 0.96981 - \frac{\varphi_t}{2 \cdot 0.2} \cdot 0.9396 \right\} = 0.04056 \text{ м}.$$

За наближеною формулою (127) отримаємо близьке значення

$$y(0,t) = \frac{10}{0.6589^3 \cdot 6.2 \cdot 10^3} \cdot 0.9547 \cdot \left[1.2^3 + \frac{3}{2} \cdot \left(1.2^2 + 1.2 + 1\right) \right] = 0.0387 \text{ м}.$$

б) Величину згинального моменту отримаємо з (131)

$$-M(0,t)=\frac{10}{0.6589}\cdot\left[\left(1+\frac{3}{2\cdot 0.2}\right)\cdot 1.2\cdot 0.9337-\frac{3}{2\cdot 0.2}\cdot 0.926\right]=39.0997\text{тс}\cdot\text{м}.$$

За наближеною формулою (142) отримаємо також близьке значення

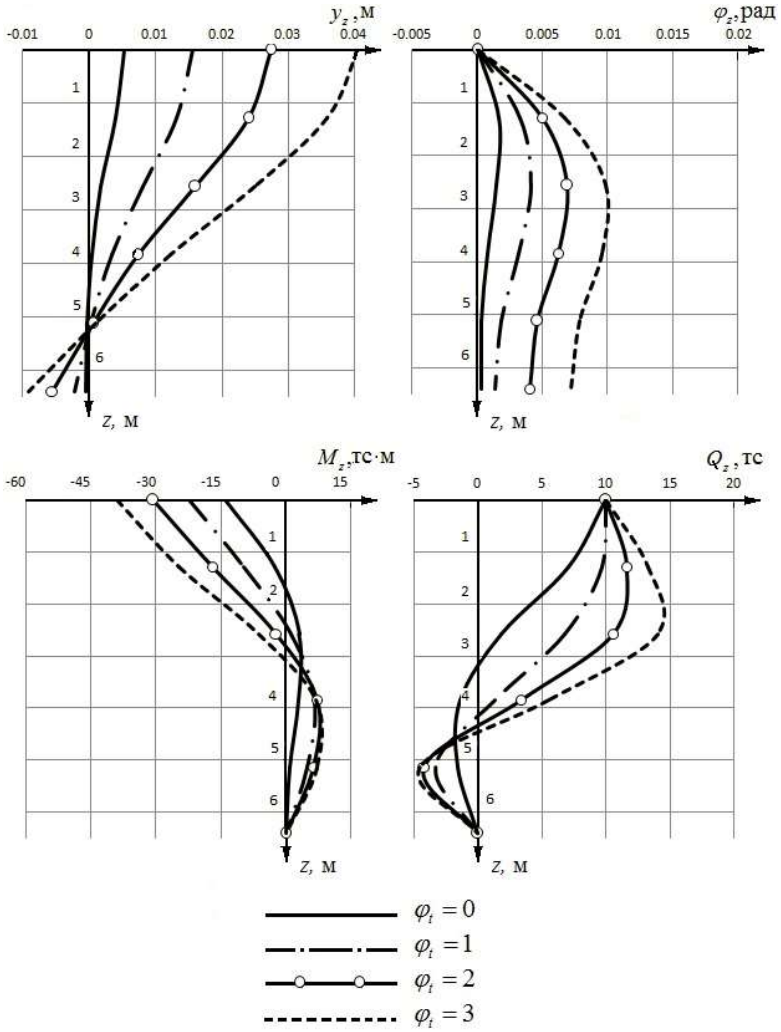
$$-M(0,t)\approx\frac{10}{0.6589}\cdot 0.92985\cdot\left(1.2+\frac{3}{2}\right)=38.1028\ \text{тс}\cdot\text{м}.$$

Графіки отриманих значень y_z, φ_z, M_z і Q_z в залежності від z при $\varphi_t = 0 \div 3$ представлені на Мал. 28.

4. Висновки:

- при обліку повзучості грунтового масиву переміщення y_0 зростають, при $\varphi_t = 3$ в 4 рази;

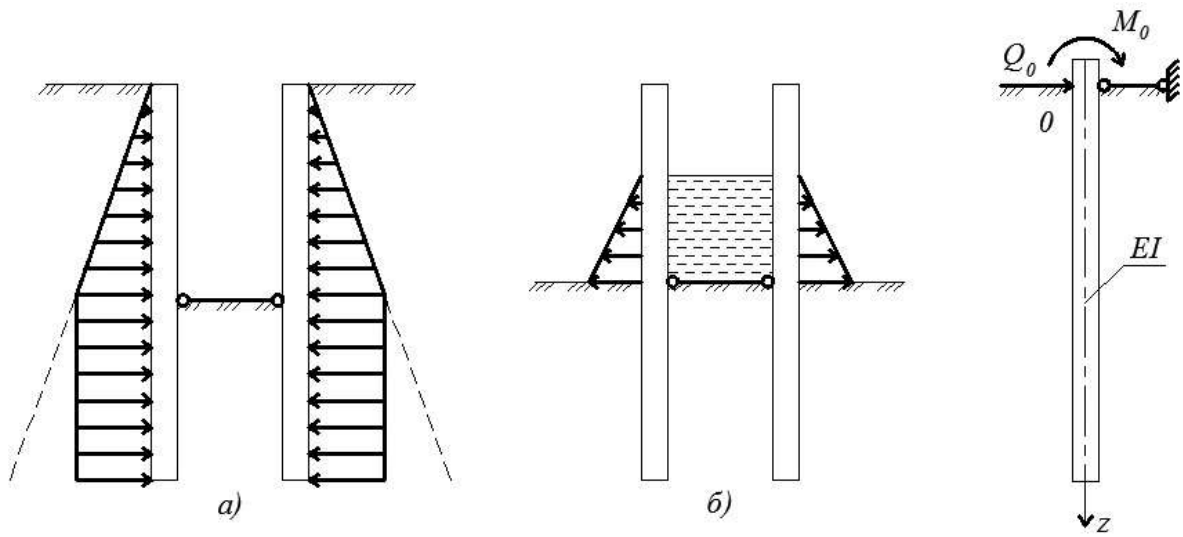
- зі зростанням φ_t максимальний згинальний момент в місці защемлення палі в ростверк зростає, при $\varphi_t = 3$, Приблизно, в 2,5 рази.



Малюнок 28. Епюри y_z, φ_z, M_z і Q_z прикладу розрахунку 6

1.3.3.3 Розрахунок горизонтально навантажених паль, при наявності розпірки в рівні грунту, з урахуванням тривалого деформування

Такий варіант конструктивного рішення може виникнути, наприклад, при необхідності створення пальового (шпунтового) огорожі вузьких котлованів, при будівництві комунікаційних споруд і т.п. [55] (Мал. 29 а, б), при якому доводиться вирішувати завдання вигину палі під дією сили Q_0 і моменту M_0 в рівні розпірки (Мал. 30).



Малюнок 29 та 30. Розрахункові схеми поперечно завантаженої палі

1.3.3.3.1. Пружньо-миттєва стадія

Система рівнянь методу початкових параметрів для даної задачі (при $y_0 = 0$) В пружною стадії отримує такий вигляд

$$\left.\begin{aligned} y_z &= \frac{\varphi_0}{\beta_0}\cdot B_1^{\,z} + \frac{M_0}{\beta_0^2\cdot EI}\cdot C_1^{\,z} + \frac{Q_0}{\beta_0^3\cdot EI}\cdot D_1^{\,z};\\ \frac{\varphi_z}{\beta} &= \frac{\varphi_0}{\beta_0}\cdot B_2^{\,z} + \frac{M_0}{\beta_0^2\cdot EI}\cdot C_2^{\,z} + \frac{Q_0}{\beta_0^3\cdot EI}\cdot D_2^{\,z};\\ \frac{M_z}{\beta_0^2\cdot EI} &= \frac{\varphi_0}{\beta_0}\cdot B_3^{\,z} + \frac{M_0}{\beta_0^2\cdot EI}\cdot C_3^{\,z} + \frac{Q_0}{\beta_0^3\cdot EI}\cdot D_3^{\,z};\\ \frac{Q_z}{\beta_0^3\cdot EI} &= \frac{\varphi_0}{\beta_0}\cdot B_4^{\,z} + \frac{M_0}{\beta_0^2\cdot EI}\cdot C_4^{\,z} + \frac{Q_0}{\beta_0^3\cdot EI}\cdot D_4^{\,z}, \end{aligned}\right\}, \qquad (132)$$

де y_z , φ_z , M_z і Q_z - горизонтальне переміщення, кут повороту, згинальний момент і поперечна сила відповідно в будь-якому поперечному перерізі палі з координатою перетину $\bar{z} = \beta_0 \cdot z$.

Функції B_i^z , C_i^z і D_i^z називають функціями впливу. Їх величини, які відповідають різним значенням наведеної глибини, поміщені в таблиці 1 [56].

Беручи на нижньому кінці палі умова $Q^H = 0$; $M^H = 0$, з двох нижніх рівнянь (124) отримуємо

$$\left.\begin{aligned} \beta_0^2 \cdot EI \cdot \varphi_0 \cdot B_3^H + Q_0 \cdot D_3^H = -\beta_0 \cdot M_0 \cdot C_3^H; \\ \beta_0^2 \cdot EI \cdot \varphi_0 \cdot B_4^H + Q_0 \cdot D_4^H = -\beta_0 \cdot M_0 \cdot C_4^H. \end{aligned}\right\}. \tag{133}$$

Із системи (133) можна записати два невідомих початкових параметра в такому вигляді

$$\left.\begin{aligned} \varphi_0 = -\frac{M_0}{\beta_0 \cdot EI} \cdot W^H; \\ Q_0 = -\beta_0 \cdot M_0 \cdot R^H, \end{aligned}\right\}, \tag{134}$$

де W^H і R^H - нові функції, які залежать від приведеної довжини палі H (Мал. 31):

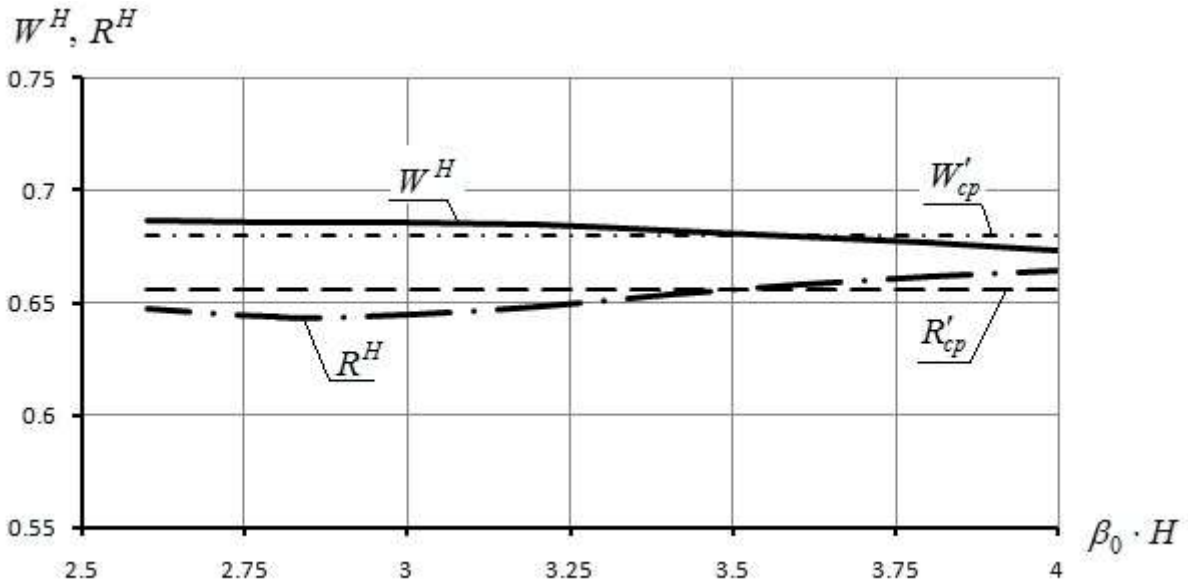
$$\left.\begin{aligned} W^H = \frac{C_3^H \cdot D_4^H - C_4^H \cdot D_3^H}{B_3^H \cdot D_4^H - B_4^H \cdot D_3^H}; \\ R^H = \frac{B_3^H \cdot C_4^H - B_4^H \cdot C_3^H}{B_3^H \cdot D_4^H - B_4^H \cdot D_3^H}, \end{aligned}\right\}. \tag{135}$$

Аналіз результатів розрахунків показав, що для широкого діапазону наведених довжин паль $2.6 \le \beta_0 \cdot H \le 4$ з точністю в межах $(1 \div 1.3)$ %можна прийняти (Мал. 31)

$$\left.\begin{aligned} W'_{cp} \approx -0{,}68; \\ R'_{cp} \approx -0{,}656, \end{aligned}\right\}, \tag{136}$$

а з точністю до 5% можна вважати, що

$$W''_{cp} = R''_{cp} = -0{,}666. \tag{137}$$



Малюнок 31. Функції W^H і R^H в залежності від приведеної довжини паль $\beta_0 \cdot H$

Спочатку запишемо суворе рішення системи (132) з урахуванням (134) і (135):

$$\left.\begin{aligned} y_z &\cong \frac{M_0}{\beta_0^2 \cdot EI} \cdot \left(-B_1^{\,z} \cdot W^H + C_1^{\,z} - D_1^{\,z} \cdot R^H\right); \\ \varphi_z &\cong \frac{M_0}{\beta_0 \cdot EI} \cdot \left(-B_2^{\,z} \cdot W^H + C_2^{\,z} - D_2^{\,z} \cdot R^H\right); \\ M_z &\cong M_0 \cdot \left(-B_3^{\,z} \cdot W^H + C_3^{\,z} - D_3^{\,z} \cdot R^H\right); \\ Q_z &\cong M_0 \cdot \beta_0 \cdot \left(-B_4^{\,z} \cdot W^H + C_4^{\,z} - D_4^{\,z} \cdot R^H\right). \end{aligned}\right\}. \qquad (138)$$

Якщо прийняти наближені функції W^H і R^H по усереднення (136), то система рівнянь (138) перетворюється

$$\left.\begin{aligned} y_z &\cong \frac{M_0}{\beta_0^2 \cdot EI} \cdot \left(-0.68 \cdot B_1^{\,z} + C_1^{\,z} - 0.656 \cdot D_1^{\,z}\right); \\ \varphi_z &\cong \frac{M_0}{\beta_0 \cdot EI} \cdot \left(-0.68 \cdot B_2^{\,z} + C_2^{\,z} - 0.656 \cdot D_2^{\,z}\right); \\ M_z &\cong M_0 \cdot \left(-0.68 \cdot B_3^{\,z} + C_3^{\,z} - 0.656 \cdot D_3^{\,z}\right); \\ Q_z &\cong M_0 \cdot \beta_0 \cdot \left(-0.68 \cdot B_4^{\,z} + C_4^{\,z} - 0.656 \cdot D_4^{\,z}\right). \end{aligned}\right\}. \qquad (139)$$

З метою спрощення цієї системи скористаємося рівністю (137)

$$\left.\begin{aligned} y_z &\cong \frac{M_0}{\beta_0^2 \cdot EI} \cdot U_1^{\,z}; \\ \varphi_z &\cong \frac{M_0}{\beta_0 \cdot EI} \cdot U_2^{\,z}; \\ M_z &\cong M_0 \cdot U_3^{\,z}; \\ Q_z &\cong M_0 \cdot \beta_0 \cdot U_4^{\,z}, \end{aligned}\right\}, \qquad (140)$$

де прийняті наступні позначення:

$$\left.\begin{aligned} U_1^{\,z} &\cong -\frac{(B_1^{\,z} + D_1^{\,z})}{1.5} + C_1^{\,z}; \\ U_2^{\,z} &\cong -\frac{(B_2^{\,z} + D_2^{\,z})}{1.5} + C_2^{\,z}; \\ U_3^{\,z} &\cong -\frac{(B_3^{\,z} + D_3^{\,z})}{1.5} + C_3^{\,z}; \\ U_4^{\,z} &\cong -\frac{(B_4^{\,z} + D_4^{\,z})}{1.5} + C_4^{\,z}. \end{aligned}\right\}. \qquad (141)$$

Для ілюстрації значущості пропонованого методу порівняємо результати розрахунків з використанням функцій відносних переміщень і зусиль для паль з вільною головою і з розпіркою в рівні поверхні грунту.

<u>Приклад розрахунку 7</u>

Знайдемо відносні переміщення і згинальні моменти, обчисливши значення функцій $U_1^{\,z}$, $U_2^{\,z}$, $U_3^{\,z}$ і $U_4^{\,z}$ в діапазоні $0 \le \bar{z} \le 4$, де $\bar{z} = \beta_0 \cdot z$ - наведена (безрозмірна) глибина поперечного перерізу палі.

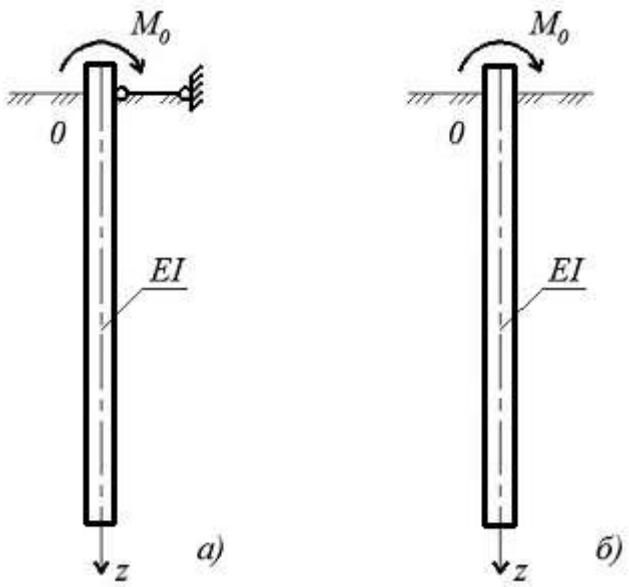
У табл. 1 наведені величини $U_i^{\,z}$.

Графіки отриманих значень $U_i^{\,z}$ для паль з розпіркою (Мал. 32, а) представлені на Мал. 33. Пунктиром показані аналогічні графіки відносних переміщень і зусиль для паль без розпірок, з наведеної глибиною закладення $\bar{l} = 4$, Завантажених изгибающим моментом в рівні поверхні грунту (Мал. 32, б).

Таблиця 1.

Числові значення функцій U_i^z

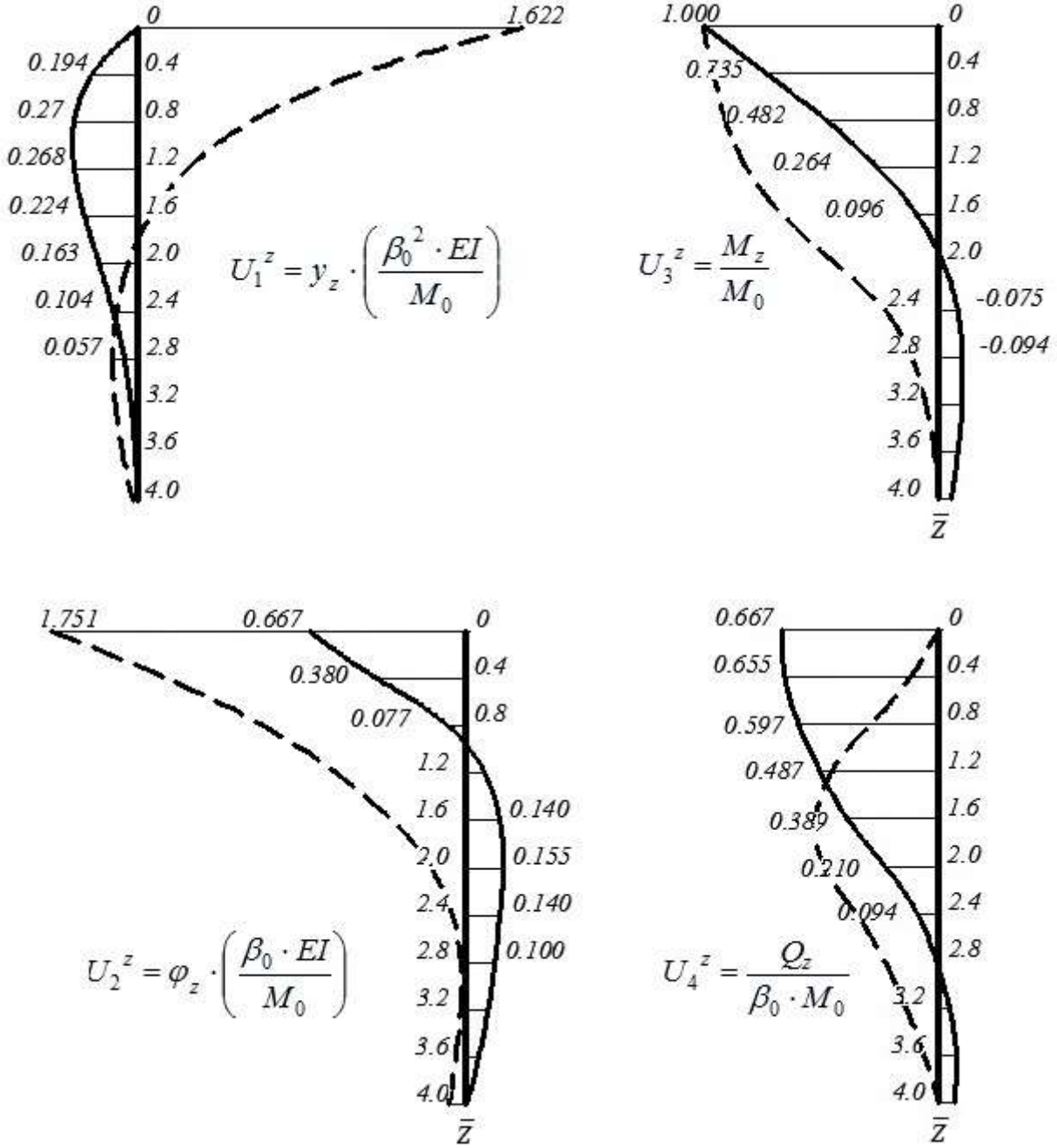
		.4	1.2	6	0	4	8	3.0	.5	.0
		0.1938	-0.2683	0.2239	-0.1633	-0.1044	-0.0569	-0.0386	-0.0090	.0021
	0.6667	0.3199	0.0704	.1406	0.1550	0.1355	0.1006	0.0817	0.0387	.0078
		.7345	0.2640	.0963	-0.0150	-0.0747	-0.0944	-0.0938	-0.0753	0.0479
	0.6667	0.6554	-0.4873	0.34875	-0.20985	-0.09346	-0.01146	0.0160	0.05116	.0549



Малюнок 32. Розрахункова схема до прикладу розрахунку 7

Аналіз отриманих результатів свідчить про те, що наявність розпірки в рівні поверхні грунту, наприклад, при влаштуванні огороджень траншей і котлованів, призводить не тільки до істотного зниження горизонтальних переміщень і зменшення кутів повороту паль, а й істотно змінює значення згинальних моментів по глибині паль.

Відзначимо, що при $\bar{l} \le 4$ в межах $0 \le \bar{z} \le 4$ значення $U_1{}^z$, $U_2{}^z$, $U_3{}^z$ і $U_4{}^z$ не змінюються.



Малюнок 33. Графіки функцій $U_1{}^z$, $U_2{}^z$, $U_3{}^z$ і $U_4{}^z$ при $\bar{l} = 4$ і $t = 0$ (суцільною лінією – паля з розпіркою; пунктирною лінією – паля з вільною головою)

1.3.3.3. Рішення завдання з урахуванням повзучості грунту

Використовуючи рішення пружно-миттєвої завдання

$$y_0{}^z = \frac{M_0}{\beta_0^2 \cdot EI} \cdot \left(C_{10}{}^z - 0.666 \cdot \left(B_{10}{}^z + D_{10}{}^z\right)\right), \tag{142}$$

а також відому залежність деформування пружного Вінклерової основи

$$y_0{}^z = \frac{\sigma_0}{C_0 \cdot b_p}, \tag{143}$$

представимо рівняння розподілу контактних напружень в пружною стадії у вигляді:

$$\sigma_0^z = \beta_0^2 \cdot \bar{z} \cdot M^0 \cdot \left[C_{10}^z - 0.666 \cdot \left(B_{10}^z - D_{10}^z\right)\right], \tag{144}$$

де $\bar{z} = \beta_0 \cdot z$ - показник наведеної глибини поперечного перерізу палі.

З урахуванням (144) вихідне диференціальне рівняння задачі тривалого навантаження палі набирає вигляду:

$$\frac{\partial^4 y\left(\bar{z},t\right)}{\partial \bar{z}^4} + \bar{z}_t \cdot y_t{}^{\bar{z}} = \frac{\varphi_t}{2 \cdot K \cdot b_p} \beta_0^2 \cdot \beta_t \cdot \bar{z} \cdot M_0 \left[C_{10}{}^z - 0.666 \cdot \left(B_{10}{}^z + D_{10}{}^z\right)\right], \tag{145}$$

де $\beta_t = \sqrt[5]{\frac{2 \cdot K \cdot b_p}{(2 + \varphi_t) \cdot EI}}$.

Приватне рішення можемо представити у вигляді:

$$u = r_1 \cdot B_1{}^0 + r_2 \cdot C_1{}^0 + r_3 \cdot D_1{}^0. \tag{146}$$

Диференціюючи (146) отримуємо

$$\frac{\partial^4 u}{\partial z^4} = r_1 \cdot \left(B_1{}^0\right)^{IV} + r_2 \cdot \left(C_1{}^0\right)^{IV} + r_3 \cdot \left(D_1{}^0\right)^{IV}. \tag{147}$$

Використовуючи функції І.В. Урбана [54], можна показати, що існує співвідношення

$$\frac{\partial^4 u}{\partial z^4} = -\beta_0 \cdot z \cdot \left(r_1 \cdot B_1{}^0 + r_2 \cdot C_1{}^0 + r_3 \cdot D_1{}^0\right), \tag{148}$$

а з використанням приватного рішення (146), рівняння (145) має вигляд:

$$\left(\beta_t - \beta_0\right)\left(r_1 \cdot B_1{}^0 + r_2 \cdot C_1{}^0 + r_3 \cdot D_1{}^0\right) = \frac{\varphi_t}{2Kb_p} \beta_0^3 \cdot \beta_t \cdot M_0 \left[C_1{}^0 - 0.666\left(B_1{}^0 + D_1{}^0\right)\right].$$

(149)

Прирівнюючи коефіцієнти при функціях початкового навантаження $B_1^{\,0}$, $C_1^{\,0}$ і $D_1^{\,0}$, Знайдемо значення r_i, А потім і саме приватне рішення

$$u = \frac{\varphi_t}{2K \cdot b_p} \cdot \frac{\beta_0^3 \cdot \beta_t}{(\beta_t - \beta_0)} \cdot M_0 \left[C_1^{\,0} - 0.666\left(B_1^{\,0} + D_1^{\,0} \right) \right]. \qquad (150)$$

Далі представимо спільне рішення однорідного рівняння (145)

$$S = N_1 \cdot C_1^{\,t} + N_2 \cdot B_1^{\,t} + N_3 \cdot D_1^{\,t}. \qquad (151)$$

З урахуванням (150) і (151) запишемо рішення вихідного диференціального рівняння вигину палі

$$\frac{\partial^4 y_t^{\,\bar{z}}}{\partial \bar{z}^4} + \bar{z}_t \cdot y_t^{\,\bar{z}} = \frac{\varphi_t \cdot \beta_t}{2 \cdot K \cdot b_p} \cdot \sigma_0^{\,\bar{z}},$$

у вигляді:

$$y(\bar{z}, t) = N_1 \cdot C_1^{\,t} + N_2 \cdot B_1^{\,t} + N_3 \cdot D_1^{\,t} +$$

$$+ \frac{\phi_t \cdot \beta_0^3 \cdot \beta_t}{2K \cdot b_p(\beta_t - \beta_0)} M^0 \left[C_1^{\,0} - 0.666\left(B_1^{\,0} + D_1^{\,0} \right) \right]. \qquad (152)$$

Довільніпостійні знаходимо з граничних умов:

$$\text{при } z = 0: \; y(0,t) = 0; \; y''(0,t) = \frac{M^0}{EI};$$

$$\text{при } z = H: \; y(H,t) = 0; \; y''(H,t) = 0.$$

Оскільки при $\bar{z} = 0$: $C_1(0) = B_1(0) = D_1(0) = 0$, то умова $y(0,t) = 0$ задовольняється автоматично.

використовуючи залежність $y''(0,t) = \frac{M^0}{EI}$, визначимо

$$\beta_t^{\,2} \cdot N_1 + \frac{\varphi_t \cdot \beta_0^{\,5} \cdot \beta_t}{2 \cdot K \cdot b_p (\beta_t - \beta_0)} \cdot M^0 = \frac{M^0}{EI},$$

звідки отримаємо

$$N_1 = \frac{M^0}{\beta_t^{\,2} \cdot EI} \left[1 + \frac{\varphi_t \cdot \beta_t}{2 \cdot (\beta_0 - \beta_t)} \right], \qquad (153)$$

а з граничних умов на нижньому кінці палі, запишемо

$$\left.\begin{aligned} N_2 B_{3t}{}^H + N_3 D_{3t}{}^H &= \frac{\varphi_t}{2\beta_t(\beta_0-\beta_t)EI} M^0\left[C_{30}{}^H - 0.666\left(B_{30}^H + D_{30}^H\right)\right] - N_1 C_{3t}{}^H; \\ N_2 B_{4t}{}^H + N_3 D_{4t}{}^H &= \frac{\varphi_t}{2\beta_t(\beta_0-\beta_t)EI} M^0\left[C_{40}{}^H - 0.666\left(B_{40}^H + D_{40}^H\right)\right] - N_1 C_{4t}{}^H. \end{aligned}\right\}. \quad (154)$$

Звернемо увагу на те, що при $z = l$ функції в дужках системи рівнянь (154), звертаються в нуль, а система спрощується

$$\left.\begin{aligned} N_2 \cdot B_{3t}{}^H + N_3 \cdot D_{3t}{}^H &= -N_1 \cdot C_{3t}{}^H; \\ N_2 \cdot B_{4t}{}^H + N_3 \cdot D_{4t}{}^H &= -N_1 \cdot C_{4t}{}^H. \end{aligned}\right\}. \quad (155)$$

Це дозволяє, використовуючи (153), знайти довільні постійні N_2 і N_3

$$\left.\begin{aligned} N_2 &= \frac{\left(C_{4t}{}^H \cdot D_{3t}{}^H - C_{3t}{}^H \cdot D_{4t}{}^H\right)}{B_{3t}{}^H \cdot D_{4t}{}^H - B_{4t}{}^H \cdot D_{3t}{}^H} \cdot \frac{M_0}{\beta_t^2 \cdot EI}\left[1 + \frac{\varphi_t}{2\cdot(\lambda-1)}\right]; \\ N_3 &= \frac{\left(B_{4t}{}^H \cdot C_{3t}{}^H - B_{3t}{}^H \cdot C_{4t}{}^H\right)}{B_{3t}{}^H \cdot D_{4t}{}^H - B_{4t}{}^H \cdot D_{3t}{}^H} \cdot \frac{M_0}{\beta_t^2 \cdot EI}\left[1 + \frac{\varphi_t}{2\cdot(\lambda-1)}\right], \end{aligned}\right\}, \quad (156)$$

де

$$\lambda = \frac{\beta_0}{\beta_t} = \sqrt[5]{1 + \frac{\varphi_t}{2}}. \quad (157)$$

Відповідно до отриманого вище рішенням (135), залежності (136) спрощуються:

$$\left.\begin{aligned} N_2 &= -\frac{M^0}{\beta_t^2 \cdot EI} \cdot W_t{}^H\left[1 + \frac{\varphi_t}{2\cdot(\lambda-1)}\right]; \\ N_3 &= -\frac{M^0}{\beta_t^2 \cdot EI} \cdot R_t{}^H\left[1 + \frac{\varphi_t}{2\cdot(\lambda-1)}\right]. \end{aligned}\right\}. \quad (158)$$

Рішення рівняння (152) отримає найбільш простий вид при $W_t = R_t \cong 0.666$

$$\left.\begin{aligned}
y(z,t) &= \frac{M^0}{\beta_0^2 \cdot EI}\left\{\left[1+\frac{\varphi_t}{2(\lambda-1)}\right]\cdot U_{1t}{}^z \cdot \lambda^2 - \frac{\varphi_t}{2(\lambda-1)} U_{10}{}^z\right\};\\
\varphi(z,t) &= \frac{M^0}{\beta_0 \cdot EI}\left\{\left[1+\frac{\varphi_t}{2(\lambda-1)}\right]\cdot U_{2t}{}^z \cdot \lambda - \frac{\varphi_t}{2(\lambda-1)} U_{20}{}^z\right\};\\
M(z,t) &= M^0\left\{\left[1+\frac{\varphi_t}{2(\lambda-1)}\right]\cdot U_{3t}{}^z - \frac{\varphi_t}{2(\lambda-1)} U_{30}{}^z\right\};\\
Q(z,t) &= \beta_0 \cdot M^0\left\{\left[1+\frac{\varphi_t}{2(\lambda-1)}\right]\cdot U_{4t}{}^z \cdot \frac{1}{\lambda} - \frac{\varphi_t}{2(\lambda-1)} U_{40}{}^z\right\}.
\end{aligned}\right\}. \qquad (159)$$

Цікавим є зміна кута повороту палі $\varphi(0,t)$ в часі

$$\varphi(0,t) \cong 0.666 \frac{M^0}{\beta_0 EI}\left(\lambda + \frac{\varphi_t}{2}\right), \qquad (160)$$

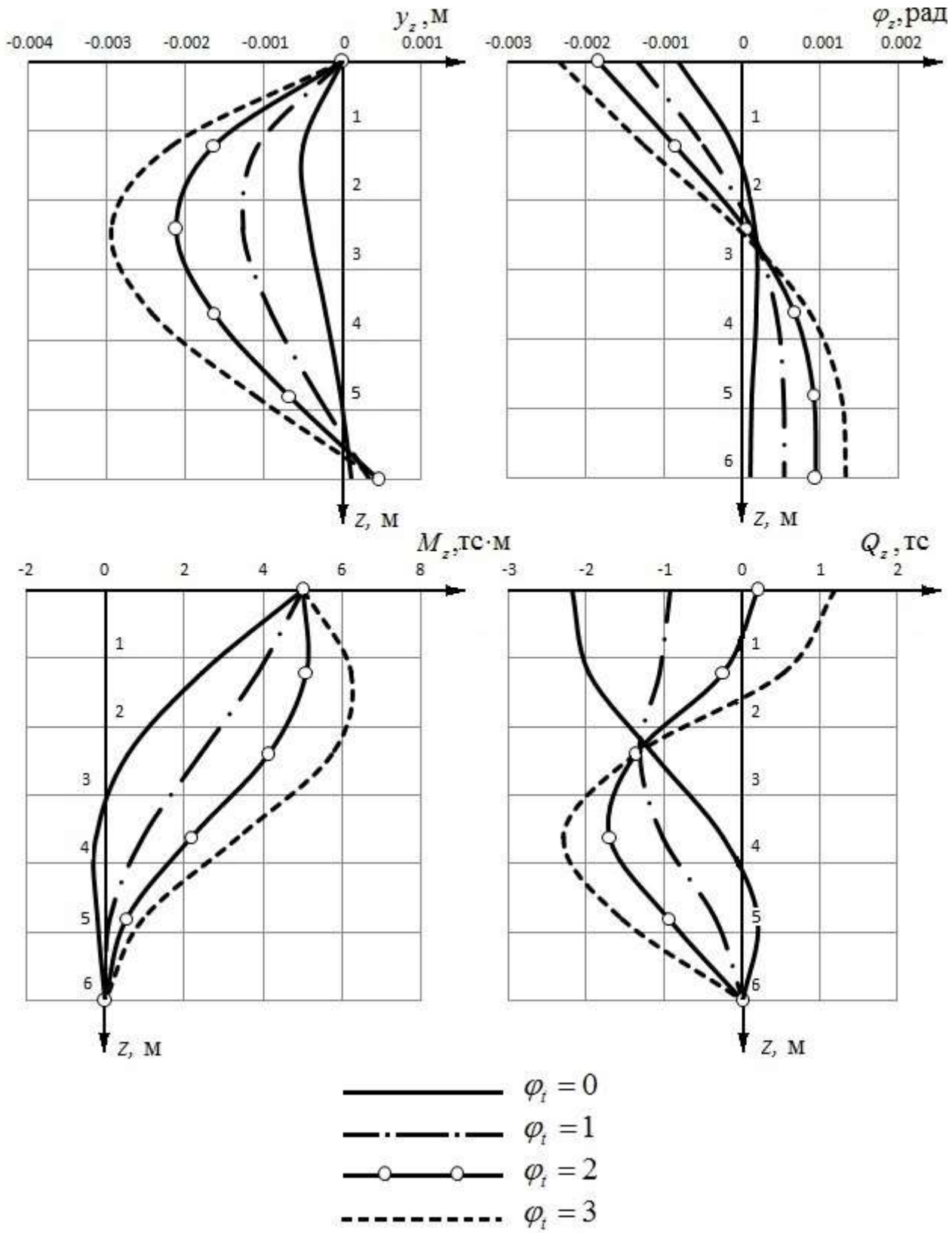
що означає високу деформативність конструкції при контакті з глинистими грунтами, що володіють значною ползучестью.

<u>Приклад 8</u>

Розглянемо вплив повзучості основи на величини згинальних моментів, поперечних сил, горизонтальних переміщень і кутів повороту палі, завантаженої згинальним моментом $M_0 = 5$ тс · м у поверхні грунту, за таких умов: жорсткість палі $EI = 6.2 \cdot 10^3$ тс·м^2; $b = 0.4$м; $H = 6$м, $\beta_0 = 0.66$ м$^{-1}$, $\beta_0 \cdot H = 3.95$, $b_p = 1.1$ м. Грунт характеризується коефіцієнтом пропорційності: $K = 700$ тс/м^4.

Розглянемо рішення при декількох значеннях характеристики повзучості: $\varphi_t = 0 \div 3$.

Графіки отриманих значень y_z, φ_z, M_z і Q_z в залежності від z для палі з розпіркою представлені на Мал. 34.



Малюнок 34. Епюри y_z, φ_z, M_z і Q_z для прикладу розрахунку 8

1.3.4 Лабораторні дослідження

1.3.4.1.1. Основні завдання експериментальних досліджень

Використання існуючих методів розрахунку горизонтально навантажених паль часто призводять до суперечливих результатів. Встановити достовірність тієї чи іншої методики вдається лише, порівнюючи розрахункові дані з отриманими в ході дослідів результатами.

Застосування методів розрахунку, що моделюють грунт лінійний-деформуємим середовищем, не дозволяє повністю використовувати несучу здатність горизонтально навантажених паль.

Основним завданням експериментальних досліджень було виявлення особливостей роботи паль на горизонтальну навантаження і встановлення характеру розподілу контактних напружень, а також деформацій стовбура паль різної жорсткості.

Методика експериментів будувалася з урахуванням вивчення напружено-деформованого стану системи «горизонтально навантажена паля-грунт». Для цього в процесі навантаження вимірювалися переміщення тіла палі на рівні поверхні грунту і на різних глибинах. Одночасно з переміщеннями визначалися контактні тиску.

Для випробувань були прийняті палі різного перетину і різної глибини занурення в грунт. Вибір таких розмірів паль забезпечував отримання як якісної, так і кількісної картини зміни напружено-деформованого стану досліджуваної системи. Прийняті глибини занурення дозволили віднести досвідчені палі як до категорії коротких (жорстких), так і гнучких, які часто використовуються в сучасній будівельній практиці.

4.1. Зразки експериментальних паль і контрольно-вимірювальні прилади

З метою отримання експериментальних результатів щодо заявленої теми були виготовлені два металевих зварних лотка 500х520х100 (мм) і 750х730х100 (мм) з листової сталі товщиною1,5 мм і металевих куточків 30х30 і 35х35 мм з висувною передньою стінкою з литого полікарбонату товщиною 4 мм і акрилу товщиною 6 мм для паль завдовжки 555, 600 і 750 (мм).

Для навантаження паль використані стандартні металеві гирі масою: 50; 100; 200; 500; 1000 (г) і спеціально виготовлені важки з листової сталі товщиною 8 і 16 (мм). Маса використаних в експериментах важків встановлена триразовим зважуванням на стандартних лабораторних вагах в лабораторії дослідження грунтів інституту «Харківводпроект».

Передача горизонтальних зусиль на голови паль від вертикально підвішеного набору важків здійснювалася за допомогою жорстких металевих Г-образних шарнірних важелів з співвідношеннями коротких частин важелів до довгих 1: 7 і 1:10.

Фактичні горизонтальні зусилля на голови паль від вертикально підвішених вантажів встановлювалися за допомогою тензорезисторних динамометрів, вбудованих в гнучкі горизонтальні зчіпки між палями і важелями і передавалися на світлові табло процесорів (Мал. 35, 36) постійно протягом всього періоду кожного експерименту.

Палі.

Палі виготовлені з литого полікарбонату, що володіє в рівній мірі як і залізобетон досить високими характеристиками міцності і деформаційними властивостями. Кількість паль 4 шт. Розміри 555х30х24 (мм); 555х40х24 (мм); 600х30х20 (мм); 750х30х24 (мм).

Всі палі вирізані і оброблені на фрезерному верстаті з листового полікарбонату ТОВ «Полигаль Схід», виготовленого відповідно до ТУ 2246-002-97726592-2008 «Монолітні панелі з полікарбонату».

Основні фізичні та механічні характеристики полікарбонату підтверджені сертифікатом якості:

густина - $1.3 \pm 0.15 г/см^3$;

міцність при розтягуванні (ГОСТ 11262-80) - 60-67 МПа;

модуль пружності при розтягуванні (ГОСТ 9550-80) - 2000 МПа;

відносне подовження при розриві не менше (ГОСТ 11262-80) - 30%;

водопоглинання,% по масі не більше (ГОСТ 4650-80) - 0.37.

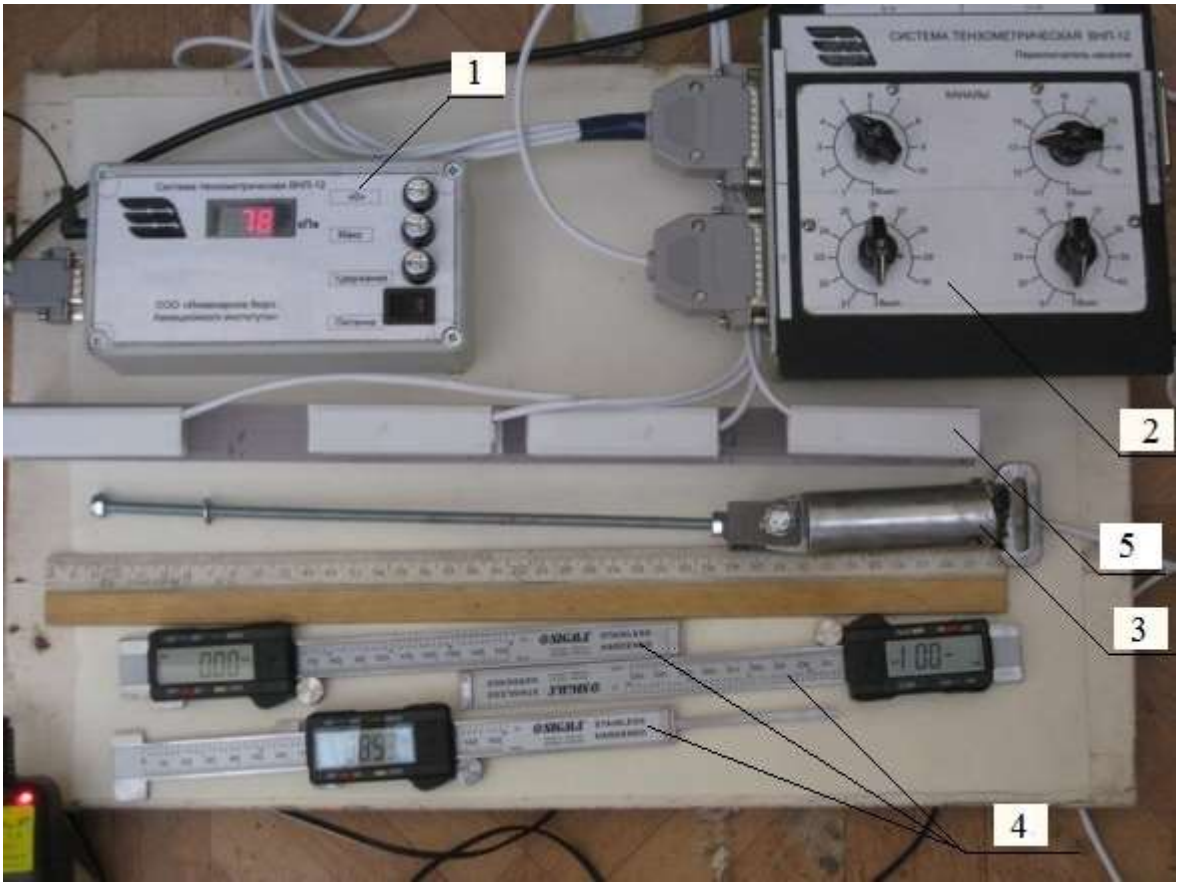
Грунт.

У всіх дослідах використовувався один і той же пісок Безлюдовського кар'єра Харківської області природної вологості ($\gamma = 1.41 г/см^3$, $\varphi = 33^{\circ}$).

Досліди проводилися в приміщенні з відносною вологістю повітря 80-85% і температурою $20 - 22^{o}$ С.

Малюнок 35. Контрольно-вимірювальна апаратура для вимірювань тиску

1 - процесор зі світловим дисплеєм №1; 2 - процесор зі світловим дисплеєм № 2; 3 - годинник; 4 - комутатор



Малюнок 36. Контрольно-вимірювальна апаратура для вимірювання переміщень

1- процесор зі світловим дисплеєм; 2 - комутатор; 3 - динамометр; *4*-електронний мікрометр з індикатором; 5 - паля з датчиками 2 типу

Фізичні та механічні характеристики грунту визначені в сертифікованій лабораторії грунтів Українського державного інституту НІІНТІЗ за стандартними нормативним методикам.

Гранулометричний склад піщаного ґрунту визначено ситовим способом (табл. 4.1).

Відповідно до ДСТУ [57] відібраний пісок є піском середньої крупності.

Таблиця 4.1

Гранулометричний склад грунту, використовуваного в експериментах

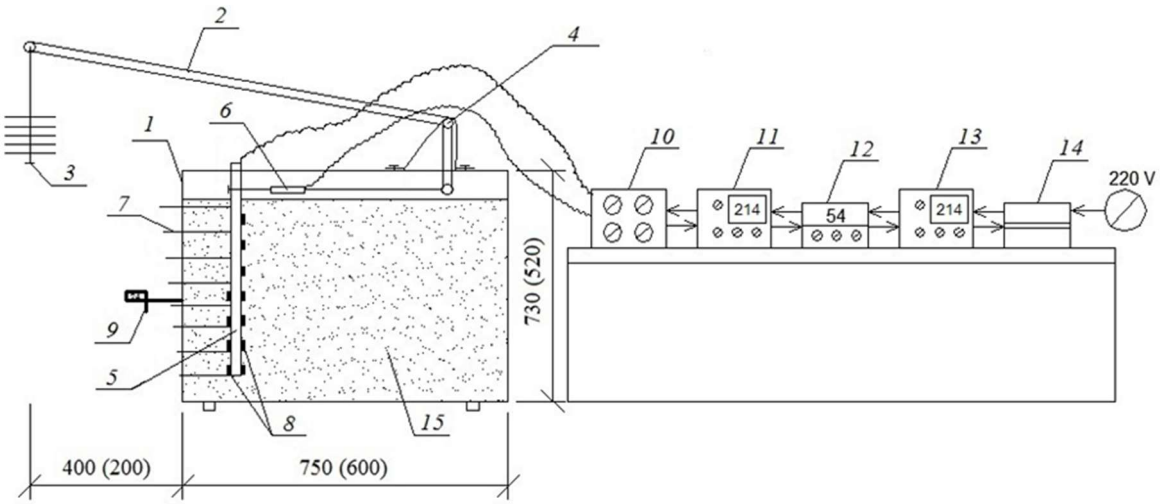
Зміст окремих фракцій,%			
1 - 0.5 мм	0.5 - 0.25 мм	0.25 - 0.1 мм	< 0.1 мм
1.8	23.7	65.2	9.2

Завантаження лотків грунтом здійснювалася перед кожним дослідом після монтажу обладнання, установки паль і налаштування контрольно-вимірювальних приладів. Завантаження проводилася через лійку довжиною 0.8 м. Грунт розподілявся рівномірно по всій площі лотка шарами товщиною 3-5 см.

Контрольно-вимірювальні прилади (Мал. 37)

Для безперервних вимірювань фактичних горизонтальних зусиль впливають на голови паль в період проведення експериментів, між металевим захопленням голови палі і вантажним важелем системи завантаження встановлювався серійно випускається ТОВ «Інженерне бюро Авіаційного інституту» тензорезисторний динамометр з діапазоном вимірювань 1150 кг. Максимальна похибка вимірювань, гарантована виробником, при зчитуванні сигналу оригінальним процесором ВНП-12 - 0.5% при зусиллі100 кг.

Для вимірювання горизонтальних переміщень в бічних панелях лотків уварені металеві втулки з діаметром отворів 2 мм. Через втулки до бічної поверхні палі встановлені металеві стрижні діаметром 1.5 мм. Довжина стержнів – 100-150 мм. В процесі експериментів вимірювалися величини горизонтальний переміщень стержнів (нижні датчики висувалися назовні, а верхні йшли в середину лотків).



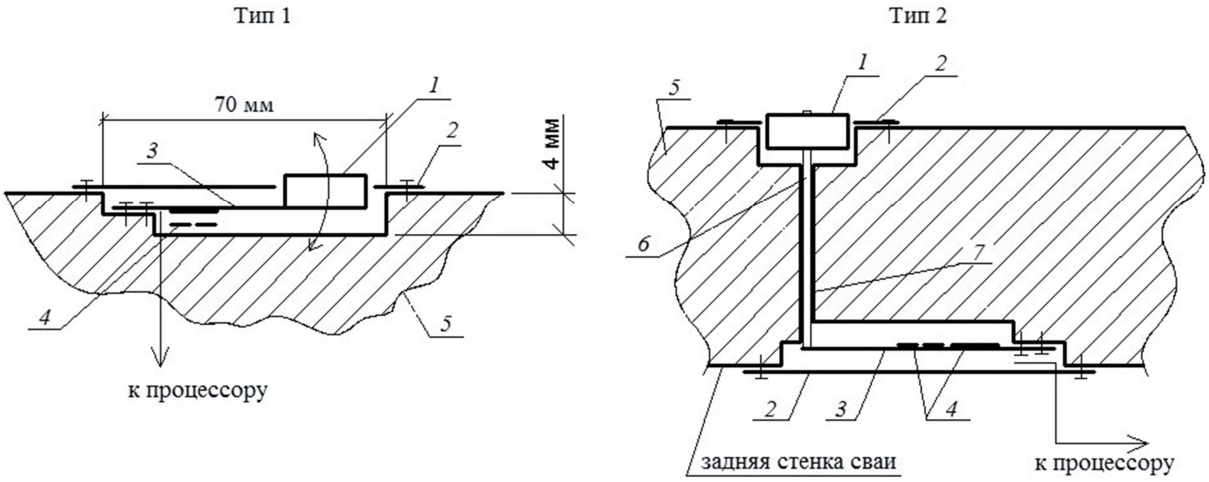
Малюнок 37. Схема механічного обладнання і контрольно-вимірювальних приладів:
1- металевий лоток з передньою стінкою з акрилу / полікарбонату;
2 - Г-подібний металевий шарнірний важіль; 3 - гнучка зчіпка з набором важків;
4 - шарнір; 5 - паля; 6 - динамометр в гнучкому зчепленні;
7- штоки для вимірювань переміщень; 8 - датчики тиску; 9 - електронний мікрометр з індикатором для вимірювання переміщень; 10 - комутатор;
11 - процесор зі світловим дисплеєм; 12 - електронний секундомір;
13 - дублюючий процесор; 14 - трансформатор 220 / 6V;
15 - дрібнозернистий пісок

Вимірювання горизонтальних переміщень стержнів (датчиків переміщень) визначалося трьома електронними індикаторами (мікрометрами) фірми «Sigma» (Китай) з автономними джерелами електроживлення. Результати вимірювань цих приладів виводилися на автономні рідкокристалічні дисплеї з інтервалом в одну соту міліметра. Гарантована виробником похибка цих приладів -0.02 мм, Тобто в діапазоні переміщень 330 мм похибка вимірювань не перевищувала 0.5%. Перед кожним досвідом індикатори проходили перевірку за допомогою метрологічного набору стандартних пластин. Показники відповідали задекларованій виробником величині.

Вимірювання величин тисків, що виникали на контакті «паля-грунт», проводилися за допомогою тензорезисторних датчиків (Мал. 38), розроблених, виготовлених і змонтованих на палях фахівцями ТОВ «Інженерне бюро Авіаційного інституту» за участю д-ра техн. наук, проф. Лучковського І.Я. і аспірантки Єсакової С.В за підготовленим технічним завданням.

Датчики тиску являють собою пластини з пружньої нержавіючої сталі, матеріал і розміри яких були визначені під можливий максимальний тиск грунту, допустимі деформації тензорезисторів, ненакоплення залишкових деформацій в пластинах після навантаження при величині їх прогинів не більше 5 мм. Один кінець цих пластин жорстко закріплений в виїмках паль, на іншому кінці жорстко прикріплені платформочкі, що виступають над навантаженими поверхнями паль на 1.5-2 мм в першому типі паль (Мал. 38, 39).

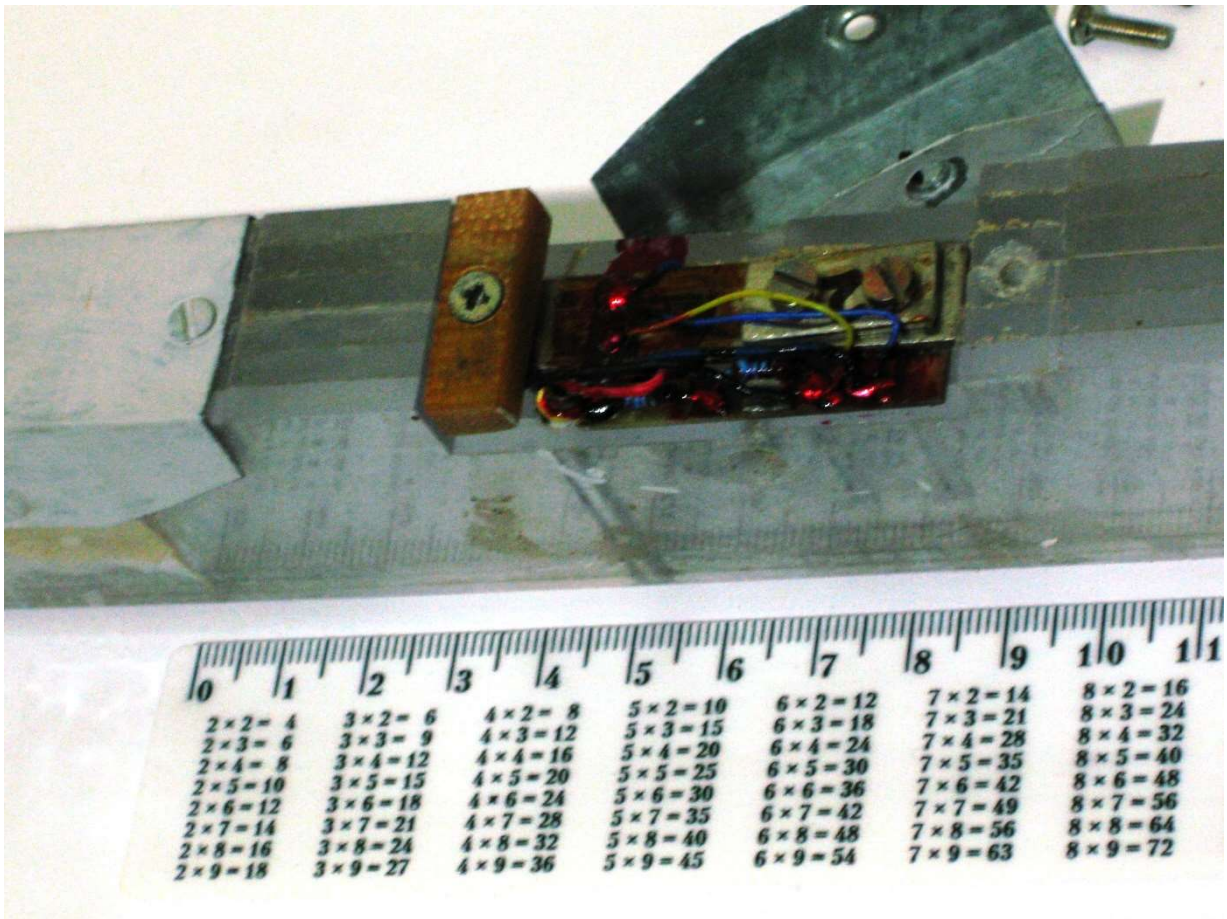
З датчиками на задній площині паль (Мал. 38) у другому типі паль зусилля від грунту на металеві деформуються пластини датчиків тиску, закріплені на ненавантажуваних площинах паль передавалися через металеві платформочкі жорстко з'єднані з металевими штоками вільно пересуваються в тілі паль. Діаметр штоків -2.0 мм, отворів штоків - 8 мм.



Малюнок 38. Схема датчиків тиску:
1- платформа датчика тиску; 2 - кожух датчика; 3 - пластина з нержавіючої сталі 68х7х1.1 або 68х5х1 (мм); 4 - тензорезистор з набором опорів; 5 - тіло палі; 6 - шток; 7 - гіпоксідне мастилоПростір між штоками і тілами паль заповнений гіпоксідной мастилом. Переміщення штока з платформою щодо палі обмежена спереду палі платформочкой, з боку задньої поверхні палі - гайкою, жорстко закріпленої на штоку. Максимальна глибина штока з платформою -5 мм, що відповідало максимальному розрахунковому тиску на платформи датчиків.

Всі експерименти були проведені з двома типами датчиків на палях, але більш стабільні результати були отримані в процесі експериментів з палями з

датчиками тиску першого типу, які були розташовані безпосередньо на навантажуються площинах.



Малюнок 39. Датчик тиску без кожуха

З нижнього боку металевих пластин датчиків тиску, що працюють як консоль, на прокладці з термостійкої паперу, просоченої фенольним клеєм УВС-10Т, тим же клеєм з подальшою термічною обробкою нанесені тензорезістори КФ5П1 R-200Ом сертифіковані Федеральним Агентством з технічного регулювання і метрології РФ (сертифікат UA .C.28.999 AN19997), поставлені ТОВ «ВЕДА» г. Киев а / с 54, мають граничне відхилення опору $\pm 1\%$, Максимально вимірювану деформацію ± 3000 мкм/м, Температурний режим роботи -70° З ...$+200^{o}$ С.

Як приймачів електричних сигналів від тензорезисторів і перетворення цих сигналів в світлові використані серійно випускаються ТОВ «Інженерне бюро Авіаційного інституту» мікропроцесори ВНП-12, що дозволяють перетворювати електричні сигнали тензорезисторов в цифрові на світловому табло безпосередньо в кПа на кожен датчик.

З метою поєднання параметрів тензорезисторних датчиків і приймачів їх сигналів (мікропроцесорів) і зручності використання цієї пари приладів, до кожного датчика досвідченим шляхом підібрані свої резистори і вмонтовані під сталевими деформуємими пластинами кожного датчика.

Для зручності використання пари приладів датчик-приймач в електричний ланцюг між ними введено 48-канальний комутатор (перемикач каналів), що дозволяє отримувати інформацію з динамометра і будь-якого датчика тиску в будь-який час при приготуванні експериментів.

Всі прилади підключаються до безперебійного блоку живлення напругою 6V (Мал. 37).

1.3.4.1.3. Таріровка і випробування зразків експериментальних паль

З метою уточнення характеристик міцності властивостей матеріалу паль були виготовлені 6 стандартних зразків в сертифікованої науково-дослідної лабораторії міцності і надійності авіаційних конструкцій національного аерокосмічного університету ім. Н.Є. Жуковського і вироблені стандартні випробування відповідно до ГОСТ 11262-80 на розрив і стиснення на випробувальному стенді університету (випробувальна машина - ZD 10/90) (Мал. 40) за стандартною методикою. Присутній протокол випробувань, підписаний науковим керівником лабораторії, зав. кафедрою 102, проф. П. А. Фомічова.

Малюнок 40. Процес випробувань полікарбонату на розтягнення

Результати випробувань представлені у вигляді таблиць і графіків залежностей $\Delta L = f(P)$ и $\sigma = f(\varepsilon)$ прикладених до протоколу випробувань.

Випробуваннями встановлено:

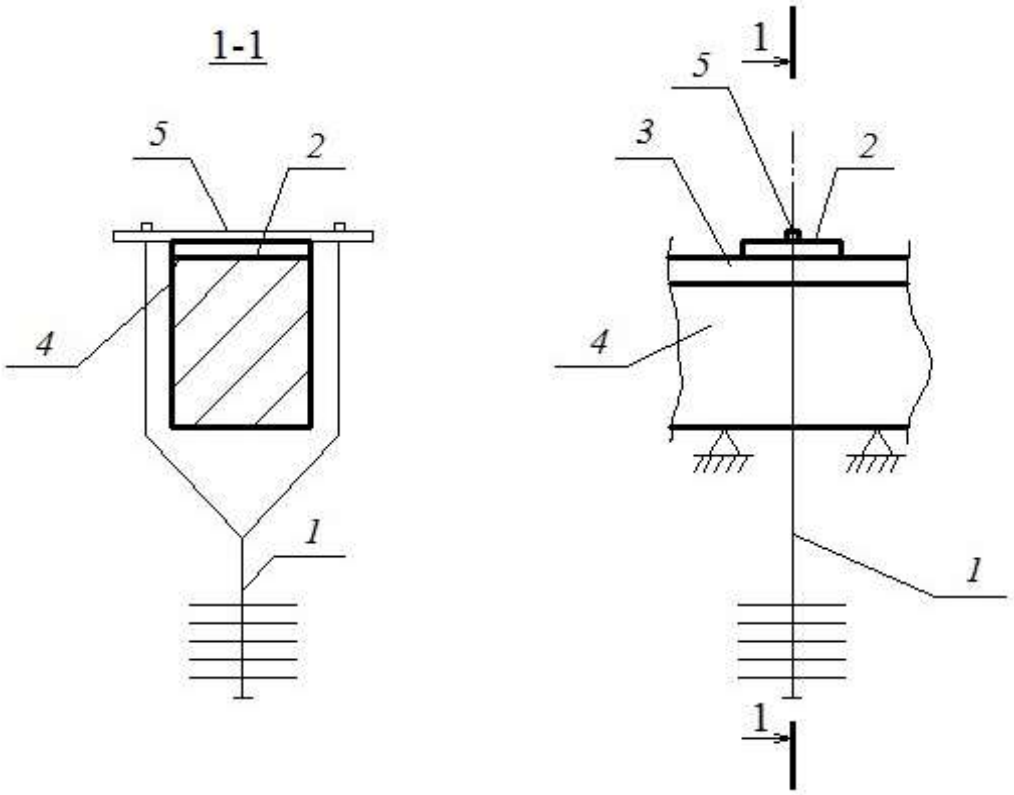
час до руйнування - 50 ... 55 с;

розрахункова міцність при розтягуванні - 60.82 МПа, похибка - 0.604%;

розрахунковий модуль пружності - 1804.45 МПа, похибка - 1.092%.

1.3.4.1.4. Методика випробувань паль на горизонтальну навантаження

З метою якісного проведення експериментів була розроблена технологічна карта, яка передбачає порядок дій кожного учасника експерименту в період його проведення, підготовлені журнали тарувальних робіт і показників КВП.



Малюнок 41. Спосіб тестування датчиків тиску:

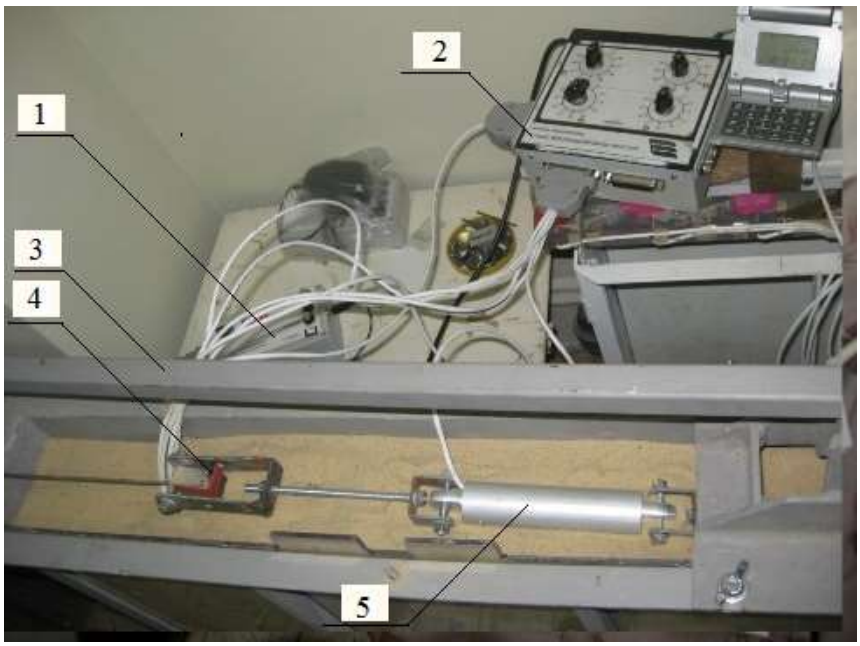
1- гнучка зчіпка з набором важків; 2 - платформа датчика тиску; 3 - кожух датчика; 4 - тіло палі; 5 - металевий стрижень 3х3х70 мм

На Мал. 41 приведена схема тестування датчиків тиску. Проводилося тестування всіх датчиків перед кожним експериментом.

Заповнення лотка грунтом пошарово рівномірно шарами 23 см по всій площі короба за допомогою воронки (Мал. 42).

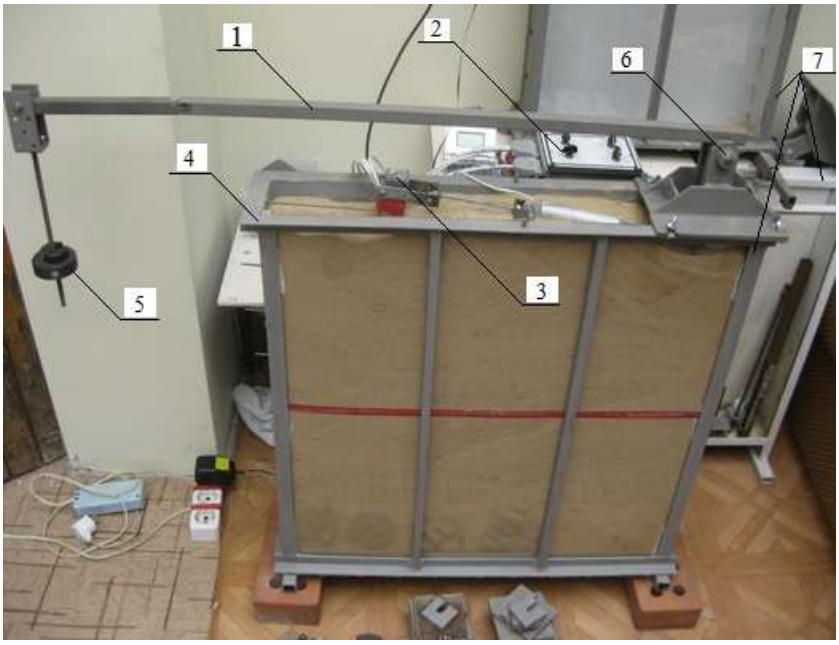
Малюнок 42. Вид на палю в процесі заповнення контейнера грунтом:
1 - паля; 2 - металевий лоток з передньою стінкою з акрилу / полікарбонату; 3 - піщаний грунт

Показники всіх датчиків фіксувалися в журналі спостережень з початку завантаження системи навантаження палі (Мал. 43) до закінчення експерименту (Мал. 44) і процесу розвантаження (Мал. 45).



Малюнок 43. Хід експерименту. Вид на палю зверху:

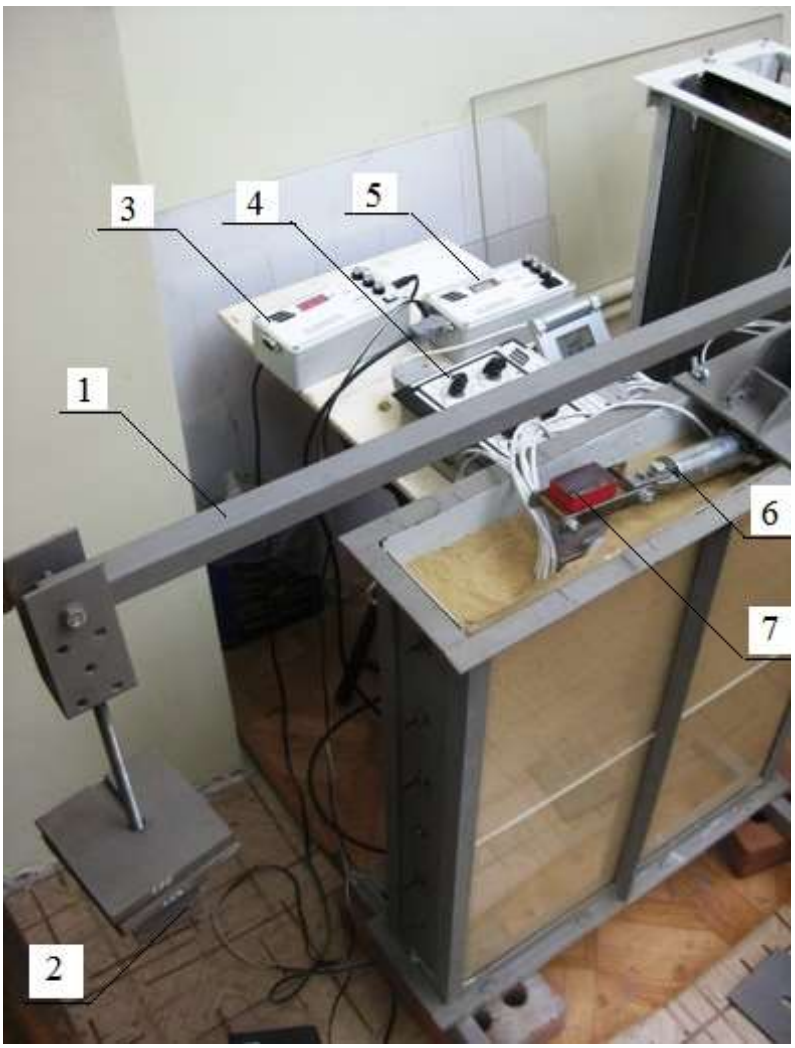
1- процесор зі світловим дисплеєм №1; 2 - комутатор; 3 - металевий шарнірний важіль; 4 - динамометр на гнучкому зчепленні



Малюнок 44. Вид на установку в процесі завантаження:

1 - металевий важіль; 2 - комутатор; 3 - паля;

4- металевий лоток з передньою стінкою з акрилу; 5 - вантаж; 6 - шарнір; 7 - металеві лоток з передньою стінкою з акрилу / полікарбонату



Малюнок 45. Вид на палю в процесі розвантаження:

1- важіль; 2 - вантаж, підвішений до гнучкому зчепленні; 3 - процесор № 1; *4*- комутатор; 5 - процесор № 2; 6 - динамометр; 7 - паля

1.3.4.1.5. Статистична обробка результатів експериментальних досліджень

Як було зазначено вище, для кожного типорозміру палі (555x40x24, 555x30x20, 600x30x20 (мм)) було проведено вимір горизонтального переміщення палі в залежності від горизонтального навантаження при її декількох значеннях. При кожному значенні навантаження дослід повторювали 5 разів. Цей масив даних був перевірений на виключення грубих помилок методом, при якому відома середньоквадратична похибка [58]. Результати перевірки показали, що грубих помилок допущено не було і все

експериментальні дані придатні для статистичної обробки, яка була проведена за стандартною технологією, яку пояснимо на одному прикладі.

Для палі довжиною 555 мм з поперечним перерізом 30х20 мм при навантаженні 7 кгс було зафіксовано переміщення голови палі $y_1 = 11$ мм , $y_2 = 11.15$ мм , $y_3 = 10.85$ мм , $y_4 = 11$ мм , $y_5 = 10.95$ мм . Середнє значення переміщення склало $\overline{y} = 10.99$ мм, а середнє квадратичне відхилення $\sigma = 0.098$ мм.

Так як отримане значення середнього та середньо-квадратичне відхилення є оцінкою, то істинне значення знаходиться по залежності

$$\left|a - \overline{y}\right| < t \cdot (\rho, k) \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}}, \qquad (161)$$

де a - істинне значення;

$\overline{y}, \sigma$ - оцінка середнього та середньо-квадратичного значення, підраховані за експериментальними даними;

$t(\rho, k)$ - коефіцієнт Стьюдента [59], де

ρ - достовірна ймовірність (надійність), яку приймемо на рівні 95%;

$k = n - 1$ - ступінь свободи;

n - кількість експериментів ($n = 5$).

Для даного прикладу $t(\rho, k) = 2.78$ і справжнє значення переміщення одно

$$\left|a - \overline{y}\right| = 2.78 \cdot \frac{0.098}{\sqrt{5}} = 0.12 \text{ мм.}$$

Для кожного експерименту довірчий інтервал завдано на Мал. 46, 47, 48.

Криві апроксимовані за допомогою сплайн-методу.

1.3.4.1.6. Порівняння теоретичних і експериментальних даних, чисельні дослідження

Достовірність прийнятої теоретичної моделі визначається її здатністю описувати роботу реальної конструкції у всьому комплексі, на всіх стадіях роботи, відповідати як її деформованій схемі, так і напруженому стану. При

цьому вона повинна відповідати різним граничним умовам, які трапляються в практиці. Крім того, стандартні випробування, на основі яких отримують розрахункові параметри грунтової основи, передбачають випробування поперечною силою, яка прикладається на рівні поверхні грунту. Таким чином, ці параметри як би відповідають одній граничній умові. Достовірність моделі визначається також тим, наскільки отримані дані відповідають іншим граничним умовам: горизонтальне навантаження прикладене на відстані h_1 від поверхні грунту або паля жорстко закріплена в ростверку.

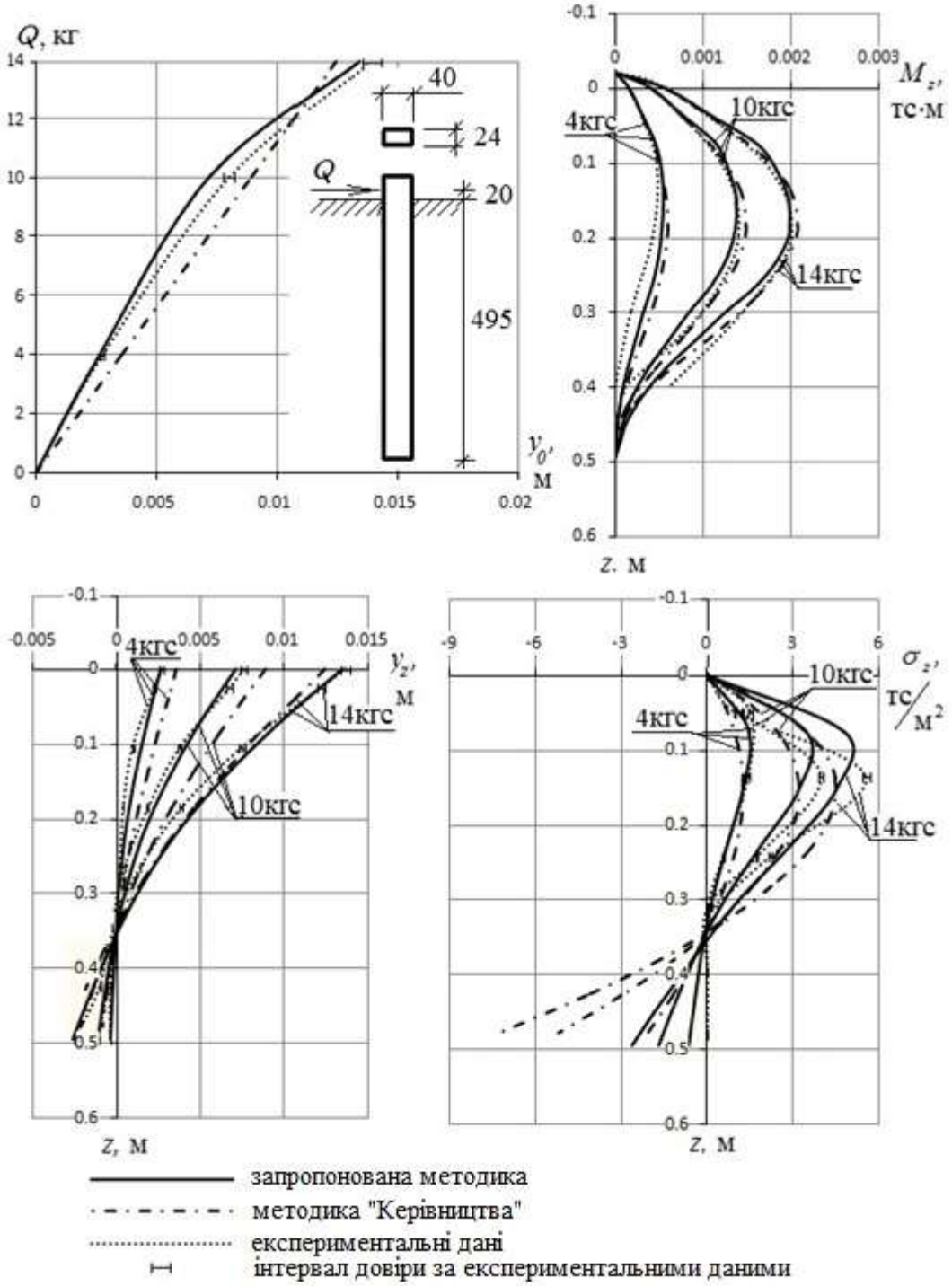
Отже, відповідність повинна мати місце по напружено-деформованому стану, і для різних граничних умов.

1.3.4. Результати експериментів

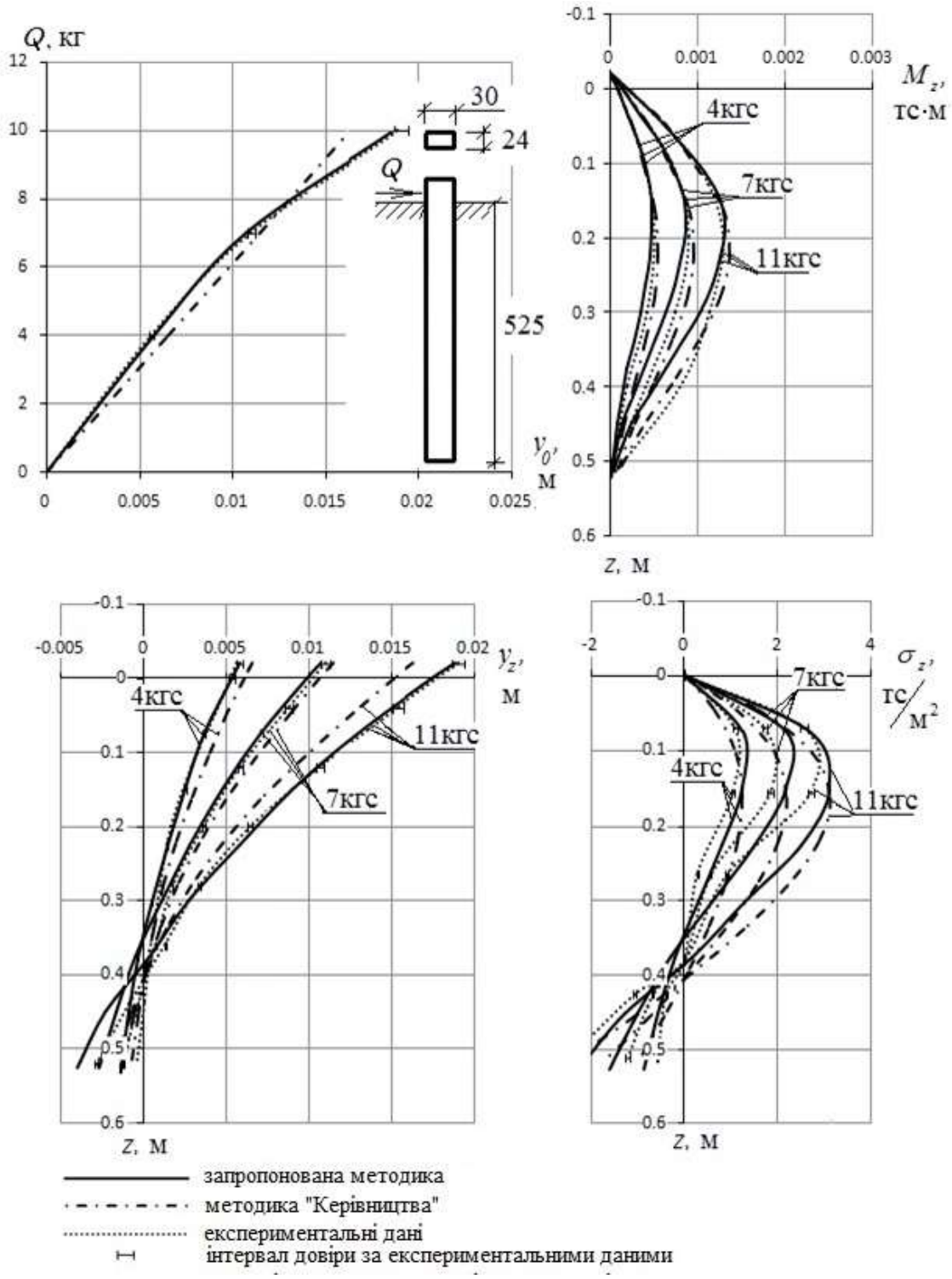
На Мал. 46 показані графіки залежності $y_0 = f(Q)$, епюри горизонтальних переміщень $y_z = f(Q)$, згинальних моментів $M_z = f(Q)$, відпору грунту $\sigma_z = f(Q)$ в функції від зовнішнього навантаження для горизонтально навантаженої палі розмірами 555х40х24 (мм). Ці палі відносяться до категорії жорстких (коротких) $\bar{l} = \alpha_д \cdot H = 2.6$.

На Мал. 47 приведені ті ж залежності для палі розмірами 555х30х20 (мм). Палі є гнучкими $\bar{l} = \alpha_д \cdot H = 3.1$.

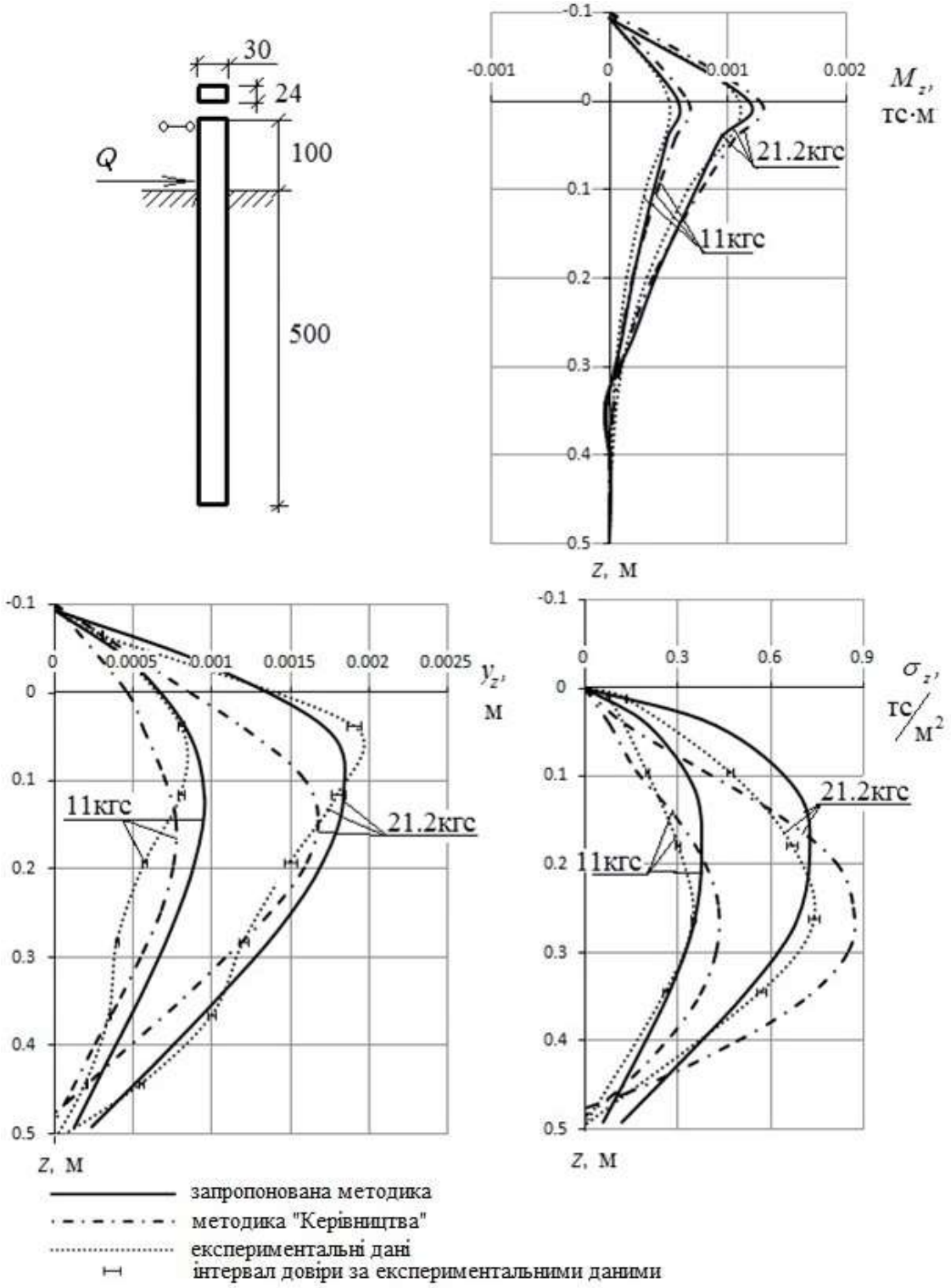
Випробувані моделі палі з різними граничними умовами. На Мал. 48 представлена паля з опорою вище поверхні грунту на 100 мм, а навантаження прикладене на рівні поверхні грунту. Таким чином, можна випробувати палю при спільній дії згинального моменту і горизонтальної сили. Розміри паль 600х30х20 мм.



Малюнок 46 Порівняння теоретичних та експериментальних даних (модельні палі). Графіки залежності $y_0 = f(Q)$, епюри горизонтальних переміщень, згинальних моментів, опору грунту в функції від зовнішнього навантаження ($y_z = f(Q), M_z = f(Q), \sigma_z = f(Q)$)



Малюнок 47. Порівняння теоретичних та експериментальних даних (модельні палі). Графіки залежності $y_0 = f(Q)$, епюри горизонтальних переміщень, згинаючих моментів, опору грунту в функції від зовнішнього навантаження ($y_z = f(Q), M_z = f(Q), \sigma_z = f(Q)$)



Малюнок 48. Порівняння теоретичних та експериментальних даних (модельні палі). Епюри горизонтальних переміщень, згинальних моментів, опору грунту в функції від зовнішнього навантаження ($y_z = f(Q), M_z = f(Q)$, $\sigma_z = f(Q)$)

У всіх випадках при розрахунках за запропонованою методикою використовувалася комплексна розрахункова модель № 2 (п. 1.1.2) з

експоненціальним розподілом коефіцієнта жорсткості основи по глибині. Як видно на Мал. 46, 47, 48, прийнята в наших розрахунках модель основи більш точно, в порівнянні з методикою «Керівництва» [48], описує напружено-деформований стан палі.

1.3.4.3. Натурні випробування паль

1.3.4.3.1. Експериментальний майданчик № 1 (Салтівський масив м.Харкова)

Експериментальний майданчик перебував на території Салтівського масиву м.Харкова. Розміри майданчика в плані 30х30 м.

Грунти основи складені покривними жовто-бурими суглинками ($I_L < 0$), Що переходять в червоно-бурі, карбонатними на глибині 4.5-5.0 м. Суглинки підстилає шар важкої супеси червоно-бурого кольору з прошарками дрібнозернистого піску, пластичної консистенції. Грунтові води на глибині 14 м не були знайдені.

Випробування натурних і великомасштабних моделей паль були проведені лабораторією фундаментів і підземних споруд Харківського ПромбудНДІпроекту А.Н. Довгим і Г.С. Лекумовічем під керівництвом Лучковського І.Я. [47]. Нижче наведено порівняння експериментальних результатів з теоретичними, отриманими за нашою методикою (п.1.1.2) з використанням експоненціального розподілу коефіцієнта постелі по глибині (Мал. 48, 49).

1.3.4.3.1.1 Залізобетонні палі

Дослідні залізобетонні палі перерізом 12х12 см, довжиною 3.0 м в кількості 25 штук були виготовлені на заводі ЗБК-1 трест «Харківзалізобетон».

В якості поздовжньої арматури в палях використовувалася сталь гарячекатана періодичного профілю Ø10 мм класу АІІІ. Поперечна арматура - з арматури Ø4 мм класу В-1.

Зусилля в арматурі по довжині палі визначалися за допомогою тензорезисторів 2-ПКБ-20-200 з базою20 мм і опором R=199.4÷199.9 Ом.

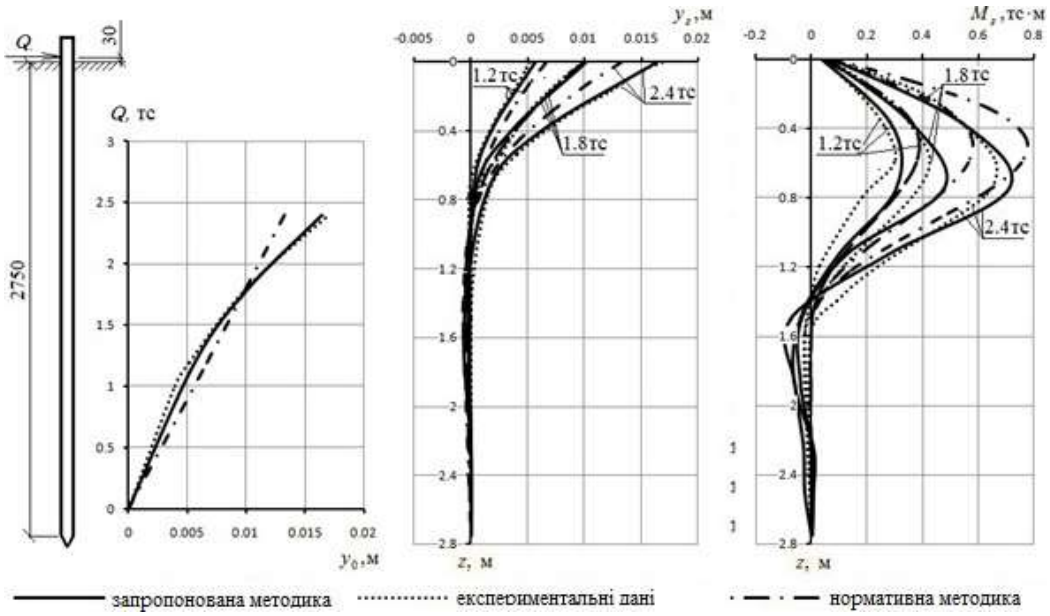
Тензорезистори відбиралися таким чином, щоб розкид опору всередині кожної партії становив не більше 0.1-0.2% від мінімальної величини опору. Вимірювання опору тензорезисторів проводилося омметром з ціною поділки 0.05.

Тензорезистори наклеювалися в попередньо профрезерований в арматурних стержнях пазах шириною 4 мм і глибиною 3 мм. На кожен стрижень наклеювалося по 26 тензорезисторов, 52 тензорезистора на палю.

Тензорезистори наклеювалися на арматуру.

Фізичні характеристики бетону і арматури приймалися експериментальні і безпосередньо з випробувань паль. Тарирувальна залежність, що виражає зв'язок між величиною згинального моменту і показаннями тензостанціі наведена в [47]. експериментальна залежність $B_x = f(M)$ наведена в [45] і використовувалася нами в розрахунку пропонованим методом.

На Мал. 49 наведені графіки залежності $y_0 = f(Q)$, $y_z = f(Q)$ і $M_z = f(Q)$. Пропонована модель основи з використанням експоненційної епюри розподілу коефіцієнта жорсткості по глибині, дозволяє більш точно в порівнянні з нормативною методикою описати напружено-деформований стан горизонтально навантаженої палі. Порівняння теоретичних даних з експериментом показує, що в широкому діапазоні зростання навантажень спостерігається практично повний збіг з експериментом: різниця горизонтальних переміщень в рівні грунту становить менше 5%, величини максимальних згинальних моментів за пропонованим методом відрізняються від експериментальних даних до 14%, а за нормативним - до 23%.



Малюнок 49. Порівняння теоретичних та експериментальних даних, майданчик № 1 (залізобетонні палі).
Графіки залежності $y_0=f(Q)$, епюри горизонтальних переміщень і згинальних моментів у функції від зовнішнього навантаження $(y_z=f(Q), M_z=f(Q))$

1.3.4.3.1.2. Металеві палі.

Металеві палі були виготовлені з двох швелерів № 12 довжиною 3 м, зварені в коробчатий перетин. При випробуванні паль на чистий вигин жорсткість палі склала. Модуль пружності металу $E_a = 2.06 \cdot 10^5$ МН/м^2.

Тензорезистори наклеювалися на внутрішню грань швелера по раніше описаній технології.

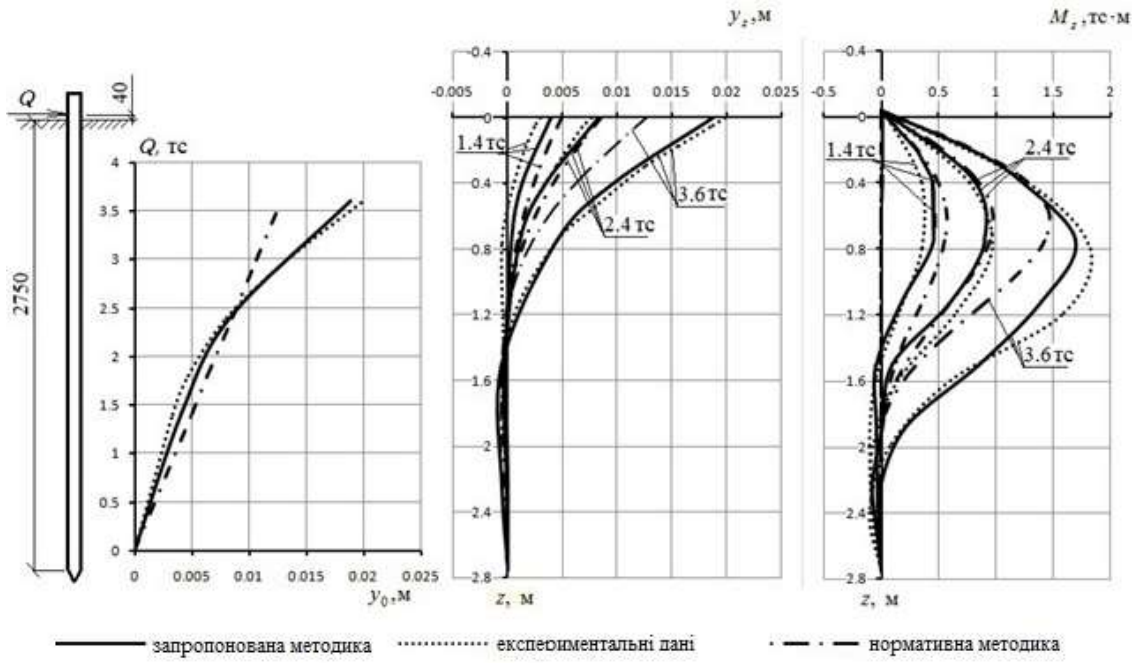
Як для залізобетонних, так і для металевих зразків паль проводилися вимірювання переміщень тіла палі в грунті через шурфи глибиною 1.2 м. Також для деяких залізобетонних та металевих паль, поряд зі зміною переміщення тіла палі в грунті, проводилися вимірювання деформації грунту перед палею. Деформації грунту, що оточує палю, вимірювалися за допомогою глибинних марок.

На Мал. 50 наведені епюри $y_0 = f(Q)$, $y_z = f(Q)$ і $M_z = f(Q)$. При розглянутих навантаженнях пропонована методика більш точно описує експериментальні криві. Так, при порівнянні горизонтальних переміщень на

рівні грунту, розбіжність з експериментами становить не більше 15%, розбіжність нормативної методики становить понад 40%. Максимальні згинальні моменти, отримані за запропонованою моделлю основи з використанням експоненційної епюри розподілу коефіцієнта жорсткості по глибині, відрізняються від експериментальних даних на 10%, а за нормативним методом - більше 40%.

1.3.4.3.2. Експериментальні дослідження В.С. Миронова (м. Новосибірськ)

Фізико-механічні властивості грунту дослідного майданчику Новосибірського інженерно-будівельного інституту, отримані на підставі проведених лабораторних досліджень, представлені в таблиці роботи [60]. Грунти до глибини 5 м складаються з маловлажних супісків середньої щільності.



Малюнок 50. Порівняння теоретичних та експериментальних даних, майданчик № 1 (металеві палі).

Графіки залежності $y_0=f(Q)$, епюри горизонтальних переміщень і згинальних моментів у функції від зовнішнього навантаження $(y_z=f(Q), M_z=f(Q))$

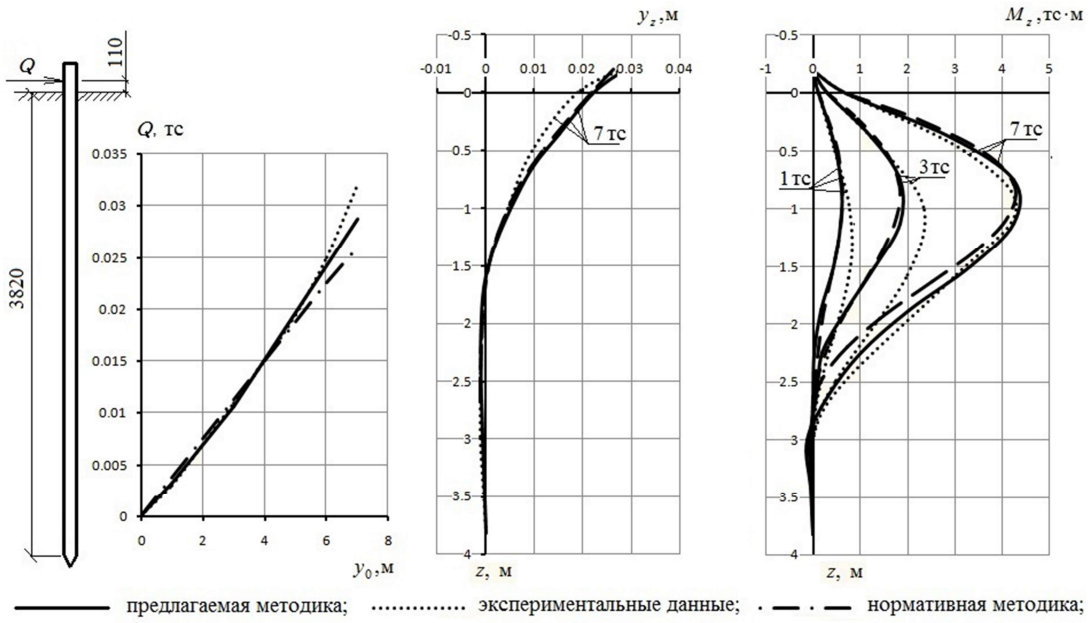
Експериментальні палі довжиною 5 м виготовлялися зі сталевих суцільнотягнутих безшовних труб Ø 168 мм. На внутрішню поверхню стінок паль, уздовж їх поздовжньої осі були наклеєні дротові електротензодатчікі з однаковими характеристиками, надійно ізольовані від навколишнього середовища тонким шаром лаку і кабельною мастикою. Датчики наклеювалися

за допомогою спеціальних струбцин через отвори Ø32 мм в стінці палі на відстані 80 мм від осі отвору.

Показання електротензодатчіків були протаріровани на палі Ø 168 мм при її вигині від зосередженого навантаження на гідравлічному пресі. Електротензодатчікі з'єднувалися з вимірювальним приладом, що представляє собою змінену схему приладу ИД-59.

В результаті дослідів значення переміщень голови палі були отримані за прогиномірами, а за показаннями тензодатчиков - значення моментів, що діють в різних перетинах по довжині палі.

На Мал. 51 наведені графіки залежності $y_0 = f(Q)$, $y_z = f(Q)$ і $M_z = f(Q)$. Пропонована модель підстави з використанням експоненційної епюри розподілу коефіцієнта жорсткості за глибиною (п. 1.1.2) краще в порівнянні з нормативною методикою дозволяє описати експеримент: різниця горизонтальних переміщень в рівні грунту становить менше 5%, величини максимальних згинальних моментів за пропонованим методом відрізняються від експериментальних даних до 20%.



Малюнок 51. Порівняння теоретичних та експериментальних даних, майданчик № 3 (металеві палі).

Графіки залежності *y_0=f(Q)*, епюри горизонтальних переміщень і згинальних моментів у функції від зовнішнього навантаження *(y_0=f(Q), M_z=f(Q))*

1.3.4.3.3. Експериментальний майданчик № 2 (м.Первомайськ, Харківська обл.)

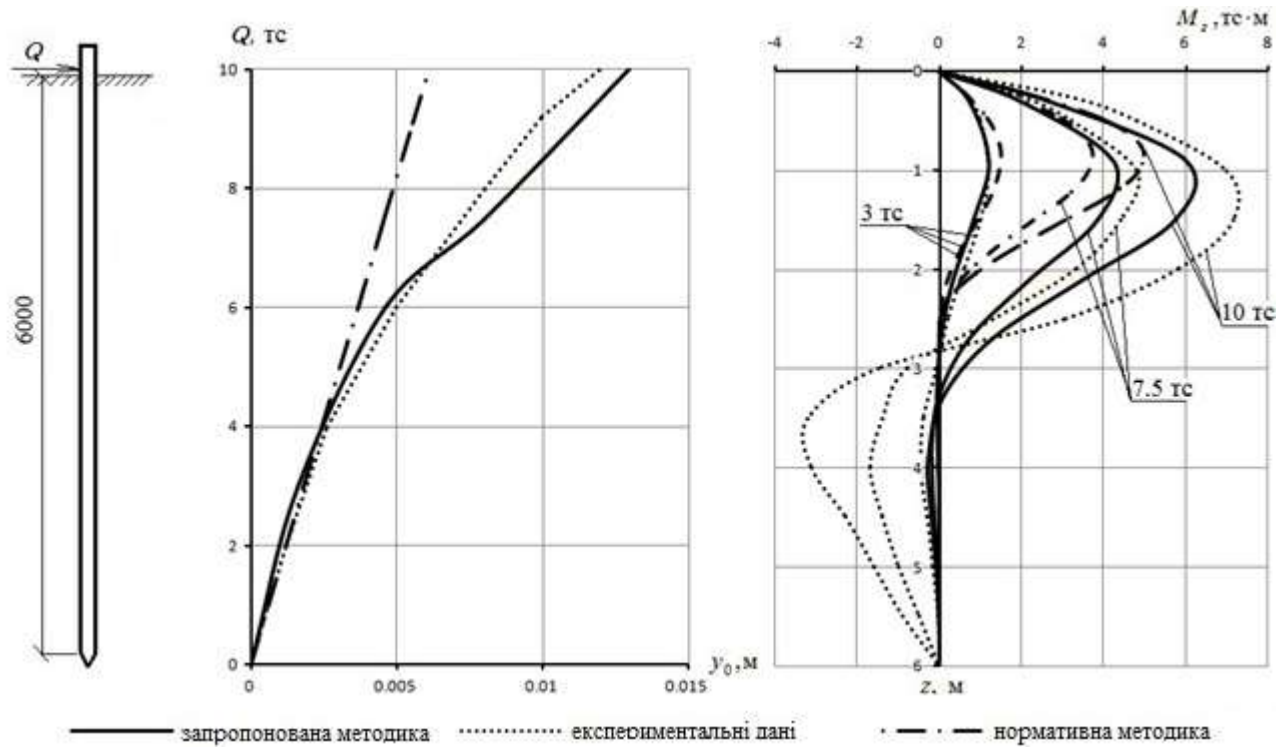
Грунти в межах глибин занурення паль за фізико-механічними властивостями складаються з 3-х шарів: лесовидні жовто-бурі суглинки переходять в суглинки лесовидні палево-жовті ($I_L < 0$). З глибини 5 м залягає важкий жовтувато-бурий суглинок ($I_L < 0$), щільність якого з глибиною зростає. Грунтові води бурінням до глибини 15.0 м не були знайдені.

На експериментальному майданчику № 2 були проведені випробування горизонтально навантажених металевих паль перетином 30х30 см, занурених в грунт на глибину 6 м.

а) На Мал. 52 наведені залежності $y_0 = f(Q)$ і $M_z = f(Q)$ для металевих паль в щільному грунті природної вологості.

Епюри вигинає моментів $M_z = f(Q)$ металевих паль представлені на Мал. 52. Криві побудовані за експериментальними даними і за результатами розрахунку з використанням комплексної розрахункової моделі №3 з синусоїдальною епюрою розподілу коефіцієнта жорсткості за глибиною (п. 1.1.3), причому епюра має вигнутий обрис, при якому основа вже у поверхні має значну величину коефіцієнта жорсткості. Порівняння епюр показує досить гарний збіг цих даних. Практичний метод розрахунку істотно краще описує реальну роботу палі. Моменти отримані за пропонованим методом перевершують експериментальні дані на 10%, а за нормативним - на 50%.

Слід зазначити також, що нормативна методика розрахунку горизонтально навантажених паль добре описує характер роботи системи за несучою здатністю і по деформативності, тільки при переміщенні менш 1 см.

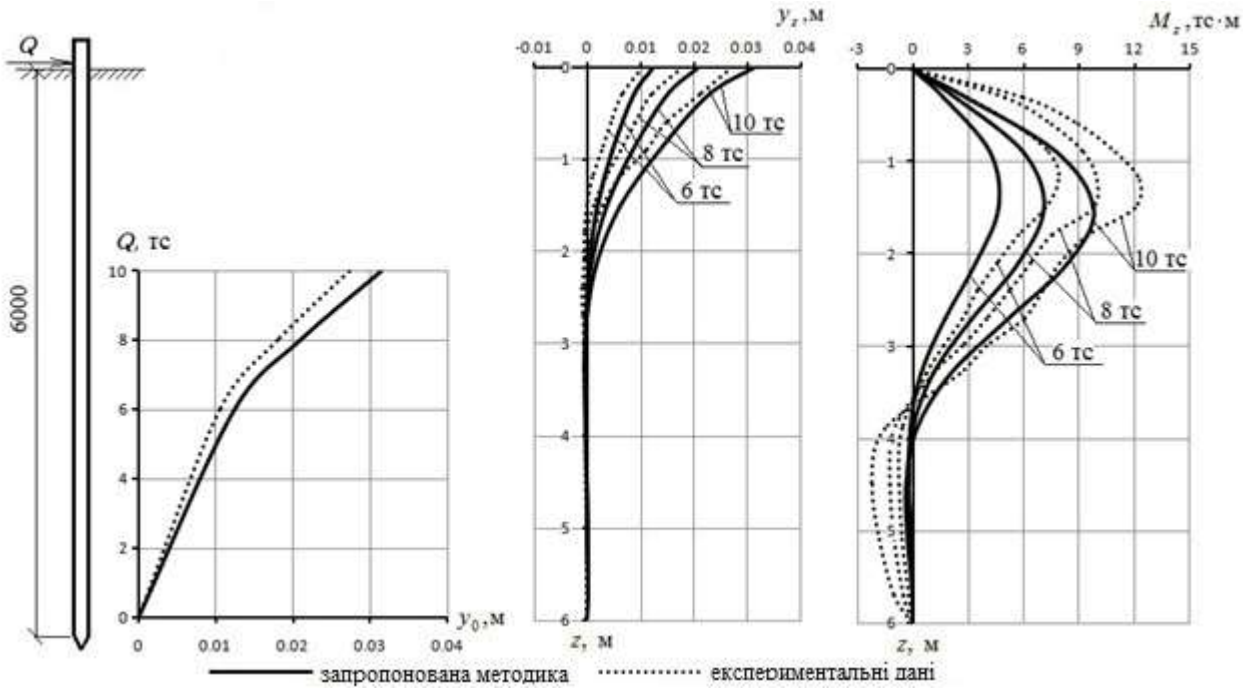


Малюнок 52. Порівняння теоретичних та експериментальних даних, майданчик № 2 (металеві палі).
Графіки залежності $y_0=f(Q)$, епюри згинальних моментів у функції від зовнішнього навантаження ($M_z=f(Q)$)

б) На Мал. 53 наведено епюри $y_0 = f(Q)$, $y_z = f(Q)$ і $M_z = f(Q)$ для металевих паль у ґрунті, який замочувався під час випробувань.

У разі зіставлення розрахунків зі слабким грунтом застосовувалася комплексна розрахункова модель № 3 (п. 2.1.1.3) з синусоїдальним розподілом коефіцієнта жорсткості основи по глибині, причому його епюра повинна мати увігнутий характер. Зіставлення з методикою «Керівництва» не наводимо, тому що в даному випадку повинен застосовуватися ДБН В.1.1-5-2000.

Розгляд цих графіків показує, що прийнята розрахункова модель є досить універсальною. У разі металевої, тобто пружною палі, коли нелінійність залежності $y_0 = f(Q)$ пов'язана з непружної роботою основи, ці залежності добре описують роботу системи «паля-грунт». Розбіжність теоретичних та експериментальних горизонтальних переміщень становить не більше 15%. Різниця в величинах згинальних моментів становить в середньому 30%.



Малюнок 53. Порівняння теоретичних та експериментальних даних, майданчик № 2 (металеві палі).

Графіки залежності $y_0=f(Q)$, епюри горизонтальних переміщень і згинальних моментів у функції від зовнішнього навантаження $(y_z=f(Q), M_z=f(Q))$

DOI 10.46299/ISG.2021.MONO.TECH.II-144-151

1.4 Аналіз природних джерел питного водопостачання України

Беззаперечним є той факт, що вода - це один із небагатьох елементів, без якого існування життя немислиме. Поряд з тим завданням урядів країн є забезпечення якісною водою для життєдіяльності, а також безперебійна та доступна і безпечна подача води до усіх споживачів. Саме тому доступ до якісної питної води це основа здоров’я населення міста, країни, регіону чи планети загалом. Така вода не становить ніякого ризику для людського здоров'я при її споживанні, а навпаки, є джерелом забезпечення необхідними мікро та макроелементами.

Залежно від країни та регіону стандарти питної води можуть відрізнятися значною мірою[61, 62]. Єдиного шляху, який прийнятний по всьому світу, не існує. В процесі розроблення та використання стандартів необхідно зважати на, не лише існуюче водне законодавство, але й яке воно буде у перспективі; на стан та якість охорони здоров'я. Важливо, щоб кожна із сучасних країн проаналізували свої потреби (в першу чергу) і оцінили можливості в тому, що стосується розроблення законодавчої системи регулювання. Реальна оцінка безпеки життя та діяльності - це питання, при вирішенні якого, свою показову роль має відіграти все суспільство загалом, і кожен громадянин окремо. Значну роль у впливі на дане питання необхідно віддати зміні клімату, що проявляється в зміні тривалості та інтенсивності як посухи так і кількості опадів. І в першому та другому випадку це значною мірою впливає на якість, і кількість води. Тому з метою зменшення негативного впливу на водопостачання необхідно проводити відповідні планувальні і управлінські рішення.

Поряд зі зміною клімату також потрібно розглядати демографічні зміни, в тому числі такі як постійна, асиміляція-зростання міст. Збільшення кількості міського населення створює істотні проблеми для забезпечення якісної питної води.

Безпека питного водопостачання – це насамперед забезпечення якісного, безперебійного шляху від водозбору до споживача води, першочерговою метою

якої є попередження забруднення питної води або ж хоча б зменшення кількості забруднення до рівня, який є не шкідливим для здоров'я людини[63,64].

За міжнародними стандартами Україна належить до країн з малим забезпеченням водою на одного жителя населення, що становить менше 1,1 тис. $м^3$/рік людина. Наша територія характеризується нерівномірним розподілом водних ресурсів. Головною проблемою України, що пов’язана з водними ресурсами, зумовлені особливостями формування України, є незбалансованість розташування підприємств, які споживають найбільше води, а також недосконалість водної політики. Лише 92,7% видобутої води потрапляє до споживачів[62].

До фізико-географічних чинників, які характеризують ускладнення водно-екологічних умов нашої держави, відносять:

- значна площа переважання маловодних степової (40 %) та лісостепової (34%) зон;

- обмеженість водних ресурсів власного формування (50 млрд $м^3$/рік).

В Україні найбільший об’м води до споживачів потрапляє через поверхневі водозабори. Коротко розглянемо характеристику усіх басейнів стоку великих річок України.

Водоспоживання при використання води із поверхневих джерел України, у басейновому розрізі представлено у таблиці 1.

Басейн річки Дніпро. Дніпро, є основною річковою системою України, водозбір якої охоплює 48 % площі території держави. Його стік забезпечує до 70 % питно-господарських потреб. У басейні містяться 33 питних водозаборів.

Таблиця 1.

Водоспоживання з поверхневих джерел у басейновому розрізі на території України

Басейн стоку	Об'єм, млн. $м^3$	Відсоток
Дніпра	7736	70.55
Сіверського Дінця	1266	11.54
Південного Бугу	271,8	2.48
Дністра	464,6	4.24
Дунаю	651,7	5.94
Приазов'я	575,7	5.25
Всього	10965,8	100

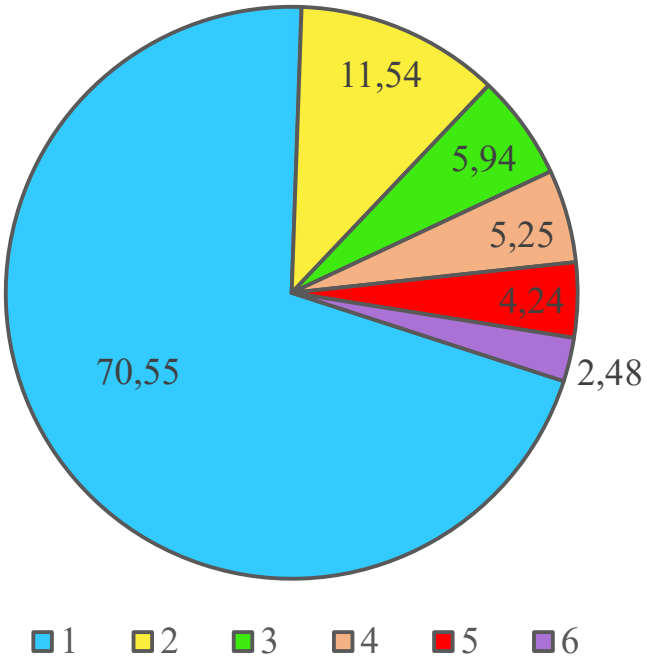


Рисунок 1. Споживання води з поверхневих джерел для водопостачання у відсотка з річок України :1. - р. Дніпро; 2.- р. Сіверський Дінець; 3 - р. Пд Буг; 4 - р. Дністер; 5 - р. Дунай; 6 - р. Приазов'я

Для басейну річки Дніпро характерні регіональні аспекти формування їх якості. Води у верхній течії Дніпра характеризуються підвищеним вмістом природних сполук гумінових та фульво кислот, сполук заліза та марганцю.

Кольоровість води є індикатором вмісту цих сполук. У зв'язку з цим, найбільше природне (біогенне) забруднення серед усіх водосховищ Дніпровського каскаду спостерігається саме у Київському водосховищі.

Вміст радіонуклідів у водах водосховищ Дніпровського каскаду та річках басейну у межах контрольованої території у цілому був стабільним і значно нижчим за встановлені нормативи.

Басейн річки Дністер. Якісний стан поверхневих вод у місцях водозаборів, що використовуються у басейні річки Дністер, як джерела питного водопостачання, в цілому задовільний. На даній річці знаходиться 14 місць питних водозаборів.

Скиди промислових підприємств м. Калуш значно погіршують показники якісного стану р. Сівка, куди потрапляють зворотні води з високим вмістом солей.

Також значний антропогенний вплив фіксується у пониззі басейну р. Дністер на території Одеської області, після проходження водотоків територією Республіки Молдова. У створах Кучурганського водосховища (с. Граданиці та с. Кучургани), р. Кучурган (с. Степанівка) фіксувалися перевищення за такими показниками: сухий залишок, $БСК_5$, азот амонійний, ПАР, кольоровість.

Басейн річки Сіверський Дінець. У районі басейну річки Сіверський Дінець існують 3 водозабори, які служать для забезпечення питною водою м. Харків , Луганську, Донецьку та Маріупольську області.

У *басейні річки Дунай* містяться 11 питних водозаборів. Якісні показники у пробах води, які відбиралися у місцях розташування питних водозаборів у руслових створах р. Дунай задовільний і відповідає вимогам.

На деяких водозаборах відбулося покращення показників за вмістом органічних речовин (БСК, ХСК) та показників солевмісту (сухий залишок, жорсткість, хлориди, сульфати та ін.), а також сполук загального заліза, фосфору.

Така ж картина спостерігалася в усіх створах питних водозаборів суббасейнів Тиси, Пруту та Сірету.

У *басейні річки Південний Буг* спостереження постійно здійснюють по 42 пунктах моніторингу, з них 12 – у місцях питних водозаборів.

Поверхневі води басейну р. Південний Буг забруднені в основному органічними сполуками. Підвищений вміст яких є наслідком впливу забруднюючих речовин, які потрапляють у водні об’єкти зі стічними водами підприємств, і впливу органічних сполук природного походження, що надходять у поверхневі води з торфовищ та боліт.

У *басейні річок Причорномор’я та Приазов’я* у місцях питних водозаборів характерними є високі значення показників сольового складу – сухого залишку, сульфатів та хлоридів внаслідок регіональних аспектів.

Підземні води питної якості, за виключенням ґрунтових, на сьогоднішній день є одним із найбільш надійним джерелом постачання води. Саме такі води є захищеними від прямого техногенного забруднення. Саме підземні водозабори формують стратегічну базу питного водопостачання населення України. Видобуток води із підземних джерел за областями представлені у таблиці 2, у відсотковому відношенні зображено на рисунку 2.

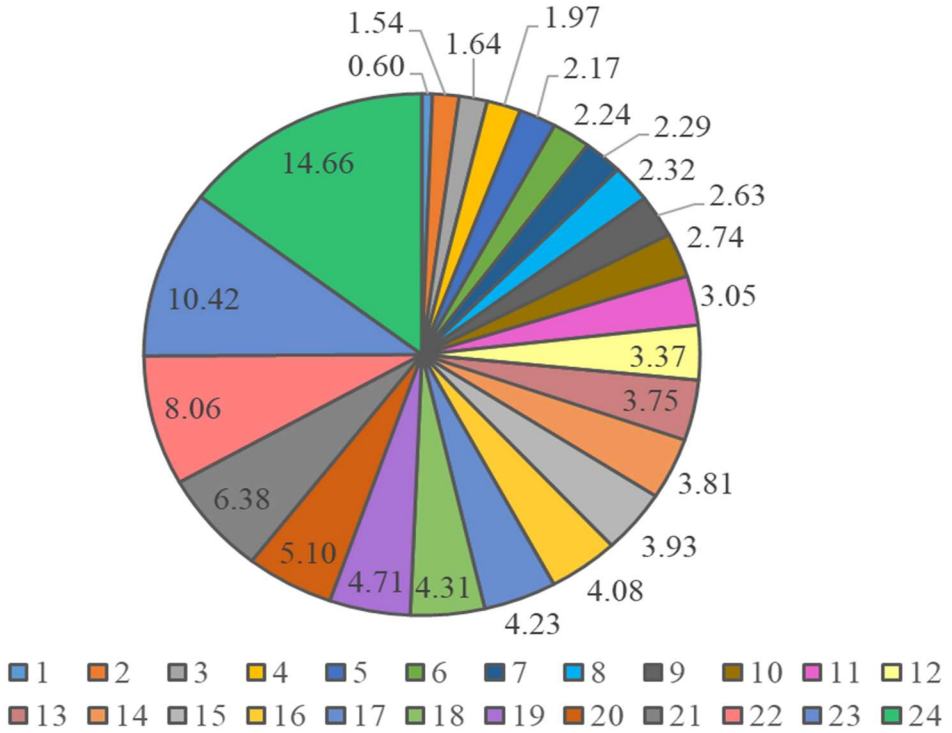


Рисунок 2. Видобуток підземних вод для водопостачання по областях України у відсотках, номери секторів відповідають номерам областей у таблиці 2.

Таблиця 2.

Видобуток підземних вод для водопостачання по областях України

№	Область	тис. $м^3$	%
1	Івано-Франківська	16.06	0.60
2	Миколаївська	41.27	1.54
3	Вінницька	43.901	1.64
4	Кіровоградська	52.765	1.97
5	Закарпатська	57.978	2.17
6	Житомирська	59.924	2.24
7	Харківська	61.248	2.29
8	Чернівецька	62.06	2.32
9	Тернопільська	70.377	2.63
10	Одеська	73.446	2.74
11	Запорізька	81.539	3.05
12	Сумська	90.273	3.37
13	Дніпропетровськ	100.375	3.75
14	Полтавська	101.936	3.81
15	Чернігівська	105.293	3.93
16	Черкаська	109.217	4.08
17	Рівненська	113.186	4.23
18	Хмельницька	115.314	4.31
19	Луганська	125.997	4.71
20	Волинська	136.475	5.10
21	Херсонська	170.741	6.38
22	Київська	215.622	8.06
23	Донецька	278.751	10.42
24	Львівська	392.44	14.66
25	А.Р. Крим	Н.в	Н.в
	Всього	2676.188	100.00

У 2010 році Генеральна Асамблея ООН визнала право людини на якісну воду і забезпечення санітарією кожного мешканця Землі. Згідно наданих даних ООН, у світі є близько 5,2 мільярди людей, які мають доступ до безпечної та недорогої питної води. Поряд з цим 2 мільярди позбавлені такої можливості.

На світовому рівні питаннями якості води займається Всесвітня організація охорони здоров'я ВООЗ. Саме ця організація визначає, якими повинні бути критерії якості води.

В Україні якість питної води визначається нормами ДСТУ 7525:2014 «Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості» [63]. У 2010 році цей документ замінив застарілий ГОСТ. У даному документі визначено 90 бактеріологічних та фізико-хімічних показників, за якими нормується якість води.

Норми представлені у [63] доволі жорстко регулюють якість питної води. Вимоги у ньому значно вищі, ніж це дозволяє ВООЗ. Порівняння вимог, щодо якості питної води представлено у табл.3.

Таблиця 3.

Порівняння якості питної води України та інших держав

Показник якості питної води	**Одиниця виміру**	**Гранично допустима концентрація**		
		Україна	***Польща***	***Країни ЄС***
Запах	бал	2,00	3,00	3,00
Смак і присмак	бал	2,00	2,00	2,00
Кольоровість	Град.	20,00	20,00	20,00
Мутність	мг / дм^3	1,50	5,00	5,00
Показник pH	-	6,00. .9,00	6,50. .8,50	6,50. .8,50
Залізо загальне	мг / дм^3	0,30	0,50	0,30
Твердість загальна	мг / дм^3	350,00	500,00	500,00
Марганець	мг / дм^3	0,10	0,10	0,05
Мідь	мг / дм^3	1,00	0,50	1,00
Хлориди	мг / дм^3	350,00	300,00	250,00
Цинк	мг / дм^3	5,00	5,00	0,10-3,00
Алюміній залишковий	мг / дм^3	0,50	0,30	0, 20
Азот амонійний	мг / дм^3	0,50	0,50	2,00
Нітрати	мг / дм^3	20,00	10,00	10,00
Свинець	мг / дм^3	0,03	0,05	0,05
Фтор	мг / дм^3	0,70-1,5	0,30-1,50	0,70-1,50

У даній роботі вивчено розподіл питної води з природніх джерел. За міжнародними стандартами Україна належить до країн з малим забезпеченням водою на одного жителя населення, що становить менше 1,1 тис. м3/рік людина. Представлено водоспоживання при використання води із поверхневих джерел

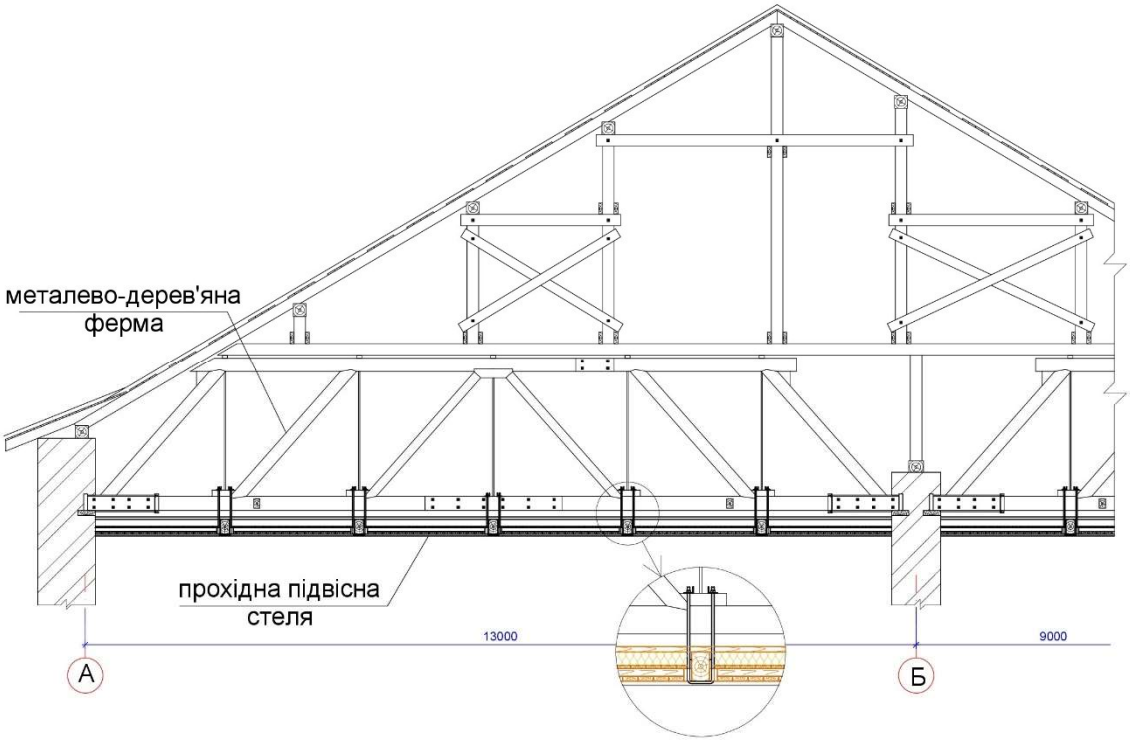
України, у басейновому розрізі (максимально використовують воду з річок басейну Дніпра - 70,55%, мінімально з річок Приазовя - 2,48%); із підземних джерел в розрізі по областях України (максимально використовують воду з підземних джерел Львіська обл. - 14,66%, мінімально з Івано-Франківська обл. - 0,6%). Міжнародні організації визнають право людини на якісну воду і забезпечення санітарією кожного мешканця Землі, завданням кожного уряду окремоїни забезпечити населення своєї держави якісною безпечною питною водою.

DOI 10.46299/ISG.2021.MONO.TECH.II-152-159

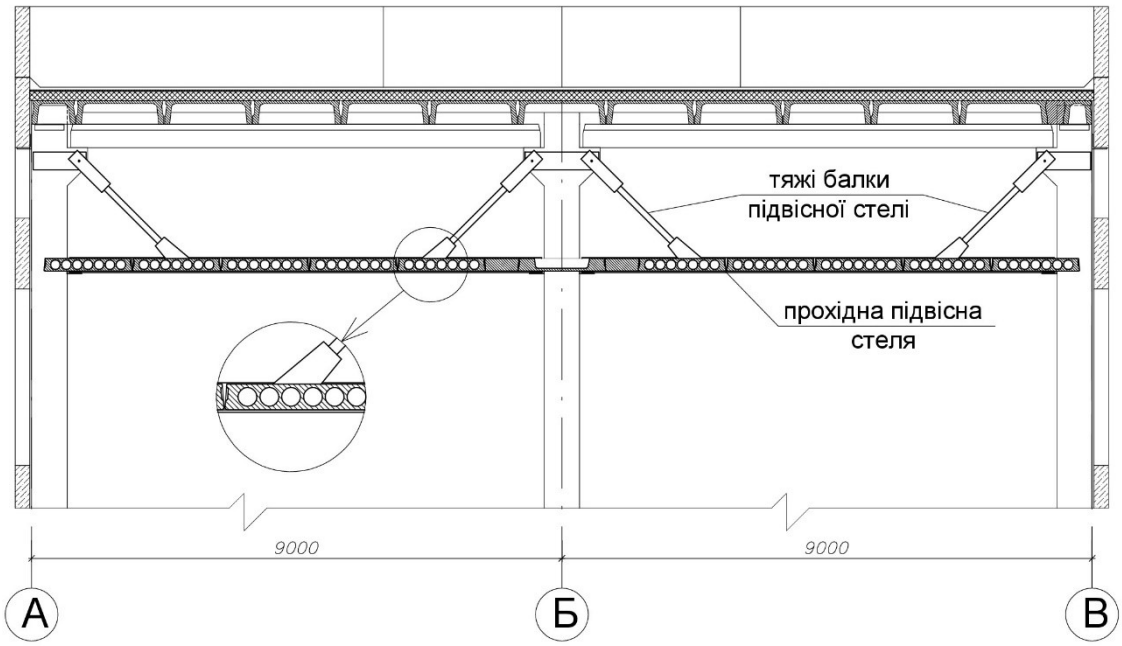
1.5 Варіант улаштування прохідної підвісної стелі в межах міжфермового простору

В останні роки та у найближчій перспективі основними напрямками структурної реорганізації промислового будівництва є розширення і реконструкція існуючих промислових об’єктів [66]. Також у зв’язку із сучасною тенденцією технічного переоснащення промислових підприємств виникає потреба реконструкції будинків і споруд, в яких вони розміщені.

Реконструкція - цей особливий вид будівельних робіт, який передбачає перебудову будівлі з метою часткової або повної зміни його функціонального призначення. Багато існуючих промислових об’єктів реконструюють під торговельно-офісні будівлі [67], в результаті чого постають питання розділення великих об’ємів приміщень додатковими проміжними перекриттями [68]. Також, з урахуванням того, що промислові будівлі в більшості є великопрогоновими, з несучими кроквяними конструкціями, виникають проблеми з улаштуванням підвісних стель у верхніх поверхах. Самі підвісні стелі виконуються не прохідними або прохідними. В більшості випадків, для встановлення додаткових інженерних комунікацій та для їх обслуговування, застосовуються прохідні підвісні стелі. Такі підвісні стелі складаються з окремих несучих конструкцій та огороджуючих елементів. Несучі конструкції прохідних підвісних стель можуть закріплюватись до балок чи ферм (мал. 1) або до елементів каркасу будівлі (мал. 2). Огороджуючі елементи закріплюються чи опираються на несучі конструкції підвісних стель і можуть виконуватись з різних матеріалів.



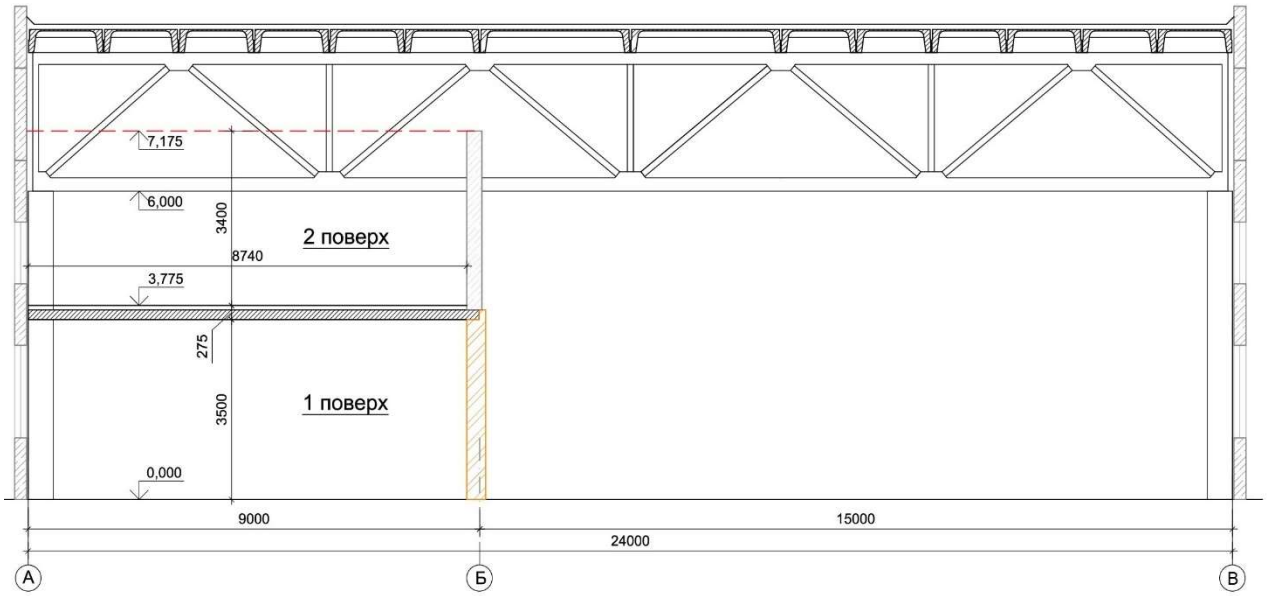
Малюнок 1. Підвіска прохідної підвісної стелі до нижнього поясу метало-дерев’яної ферми (несучі конструкції підвісної стелі – дерев’яні балки, огороджуючі елементи – дерев’яний щитовий настил)



Малюнок 2. Підвіска прохідної підвісної стелі до колон каркасу (несучі конструкції підвісної стелі – металеві балки та тяжі, огороджуючі елементи – залізобетонні плити)

В даному дослідженні розглядається однин з таких об’єктів у м. Львові,

який на даний момент експлуатується як реконструйована торговельно-офісна громадська будівля. За конструктивним рішенням одноповерхова будівля складається із залізобетонних рам шириною 24,0 м, крок рам 12,0 м. В якості тримальних конструкцій покриття застосовані залізобетонні ферми з паралельними поясами. Висота від підлоги до низу ферм – 6,0 м, висота ферми 3,0 м. Реконструкція передбачала розділення внутрішнього об’єму (в межах ширини 9,0 м) на 2 поверхи (мал. 3). Висота приміщень першого поверху прийнята 3,5 м, другого поверху – 3,4 м. Інший об’єм будівлі (не розділений поверхами) використовується в якості складський приміщень.



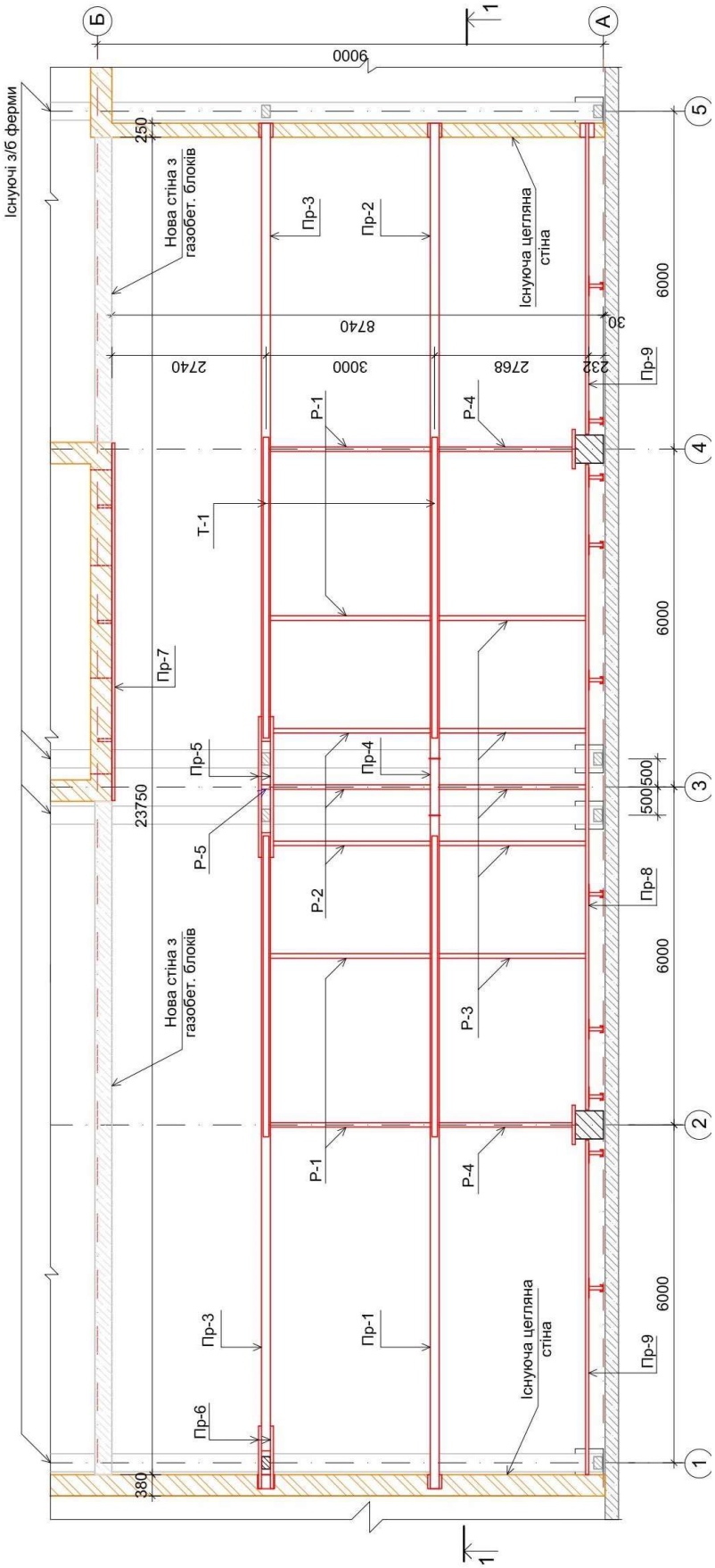
Малюнок 3. Поперечний переріз будівлі з вбудованими приміщеннями

З урахуванням архітектурно-планувальних рішень, у приміщенні 2-го поверху (8,74×23,75 м) не повинно бути проміжних опор, крім того, частина другого поверху потрапляє у міжфермовий простір і постає питання улаштування стелі даного поверху (мал. 3, 4). Також замовником поставлене завдання влаштування прохідної підвісної стелі, яка б сприймала навантаження від маси самої стелі, від розташованого на ній обладнання та зосереджене навантаження від ваги робітника з інструментом.

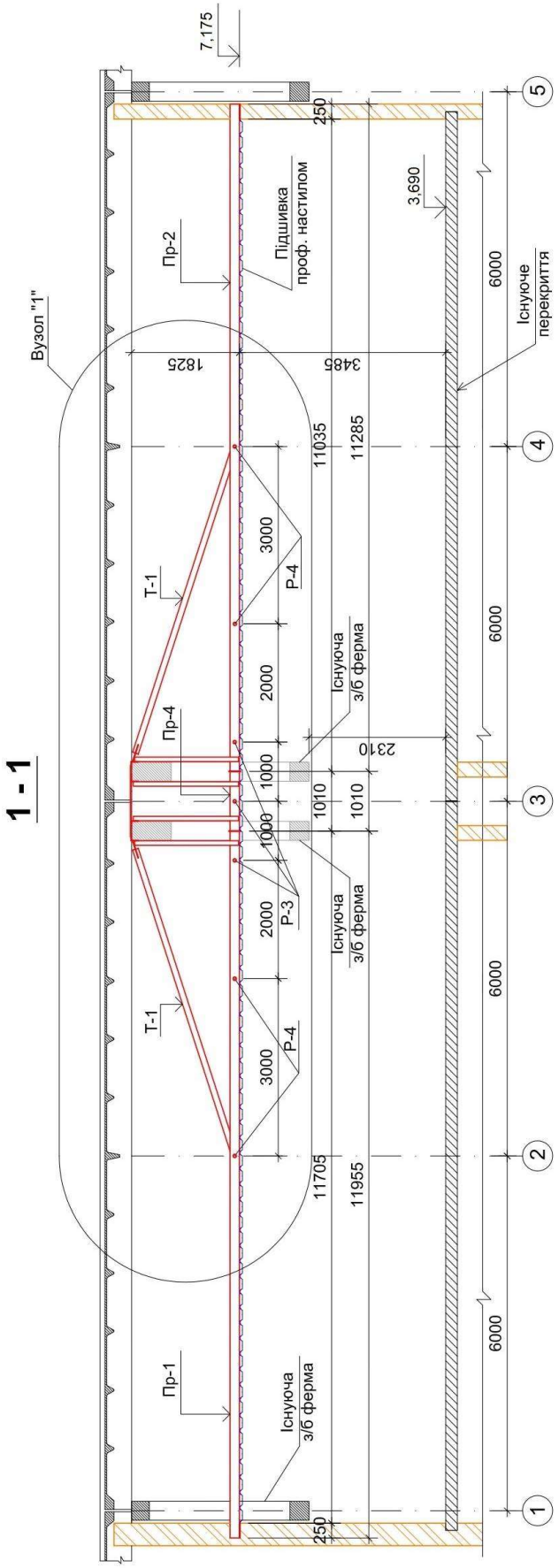
Малюнок 4. Другий поверх, що потрапляє у міжфермовий простір

Для досягнення поставленого завдання були запроектовані несучі конструкції підвісної стелі з окремих прогонів, які частково підвішені до існуючих залізобетонних ферм (мал. 5, 6, 7). Запроектовані прогони «Пр» довжиною 12,0 м з однієї сторони опираються на існуючі несучі цегляні стіни, а з другої сторони – підвішені до верхнього поясу ферми. Крок прогонів 3,0 м. Для зменшення проліту прогонів застосовані похилі тяжі «Т». Для забезпечення стійкості між прогонами влаштовані розпірки «Р». Всі прогони, тяжі та розпірки запроектовані зі сталевих прокатних профілів.

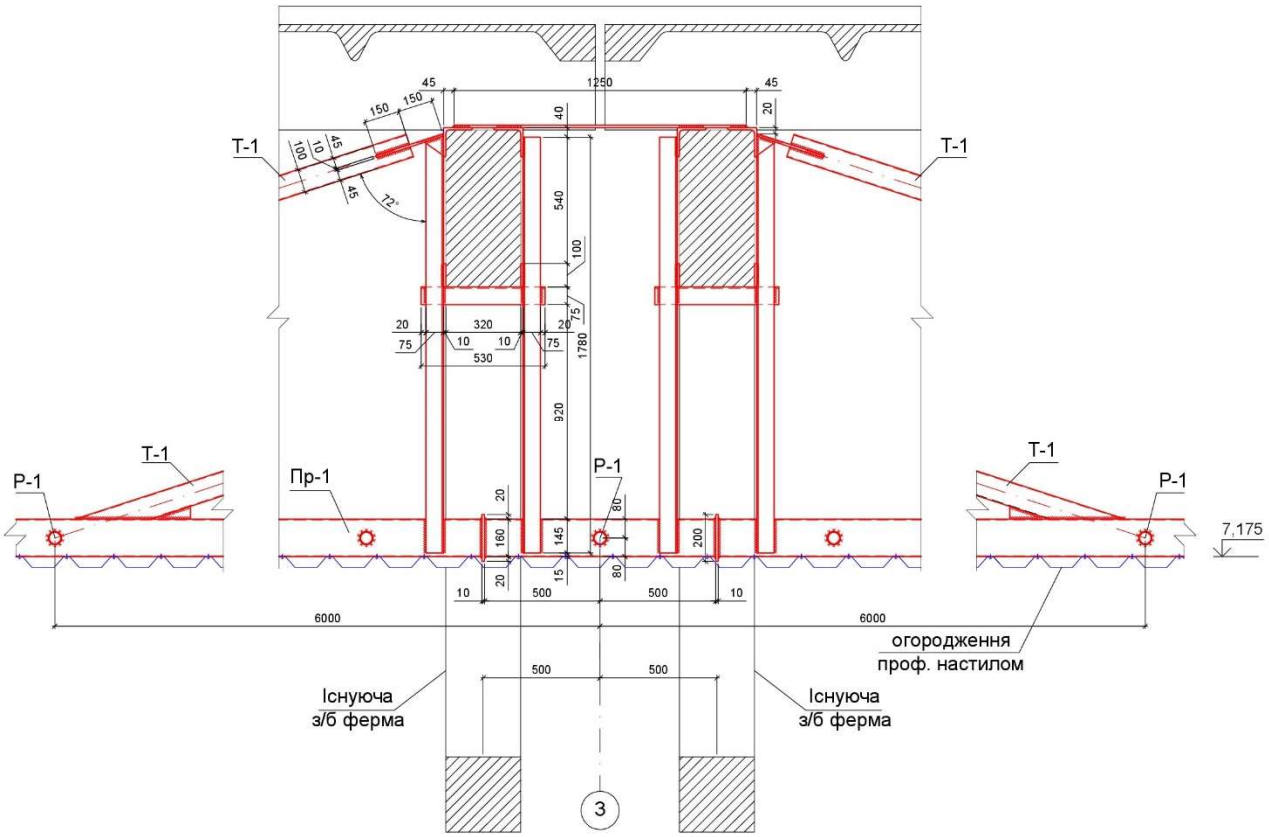
Для забезпечення відповідного температурного режиму в приміщеннях, підвісна стеля утепляється мінеральною ватою (між несучими прогонами). Зверху по прогонах влаштовуються прохідні містки для обслуговування. Архітектурою передбачено застосування в якості огороджуючих елементів стелі профільованого настилу. Застосований профільований настил НС44-1010-0.6 з полімерним покриттям, який закріплюється до прогонів та частково опирається на нові стіни. Виступаючі у приміщення нижні частини ферм додатково обшиваються гіпсокартоном з подальшим оздобленням.



Малюнок 5. План розташування несучих конструкцій підвісної стелі



Малюнок 6. Поздовжній розріз «1-1»



Малюнок 7. Вузол «1» - підвіска прогонів до верхнього поясу ферм

Запропонований варіант конструкції прохідної підвісної стелі задовольнив усі поставлені вимоги та дозволив у короткі строки виконати будівельно-монтажні роботи (мал. 8, 9).

Малюнок 8. В процесі виконання робіт по влаштуванню підвісної стелі

Малюнок 9. Вид виконаної підвісної стелі в процесі експлуатації

DOI 10.46299/ISG.2021.MONO.TECH.II-160-168

1.6 Переваги використання сталефібробетону в дорожньому будівництві

Успішний розвиток будівельної галузі базується на використанні сучасних технологій та матеріалів, які повинні відповідати нормам стандартизації [69, 70].

За статистикою, бетонне покриття дорожче асфальтового в 1,5-2 рази, тобто приблизно на 70-80%. Асфальтове вимагає догляду і ремонту вже через 3-4 роки після введення дороги в експлуатацію: заливання тріщин, засипки ям і т. п. Бетонне покриття перші 10-12 років експлуатації практично нічого не вимагає ніяких капіталовкладень. Фактично через вісім років загальні експлуатаційні витрати на бетонну і асфальтову дороги зрівнюються, після цього періоду бетонна дорога стає дешевшою.

Згідно з даними ДП «Державний дорожній НДІ», що входить в структуру «Укравтодору», вартість 1 кв. м покриття з цементобетону майже така ж, як і вартість покриття з асфальтобетону – 1 422 і 1 466 грн. Але це середній показник для всіх категорій доріг в Україні. Наприклад, «одягати» в тверде покриття дороги I категорії набагато дешевше, ніж в асфальтобетон — економія, згідно з даними будівельної корпорації «Альтіс», може досягати 30%. Відповідно до прийнятих нормативів, дорогам із асфальтобетонним покриттям необхідний поточний ремонт через шість років, через 12 — середній поточний ремонт, і на 15-му році — капітальний [71].

За даними ДП ДерждорНДІ, мінімальний міжремонтний термін для доріг з цементобетонним покриттям — дев’ять років. На обслуговування і будівництво 1 км дороги з твердим покриттям витрачається на 5% менше матеріалів, ніж на обслуговування кілометра дороги з м’яким покриттям. Однак витрати на оплату праці, на будівництво і обслуговування кілометра ЦБД майже в три рази вищі, ніж для доріг з асфальтобетону. В загальній структурі вартості витрати на оплату праці незначні — займають менше 1,5% [72].

Міністерство інфраструктури планує будівництво кількох бетонних доріг — від Миколаєва до Кропивницького, а також траси, що з’єднають Миколаїв, Херсон та Одесу.

Дороги з цементобетонного покриття вважаються більш безпечними для водія. Асфальт поглинає світло, дорогу з цементобетону краще видно в нічний час доби. Крім цього, у такого покриття краще зчеплення з гумою, тому гальмівний шлях у автомобіля — коротший [72].

Для дорожнього будівництва використовують цемент М400. «Це цемент з міцністю 400 мегапаскалів. І всі великі виробники в Україні давно випускають такий цемент. Тож навіть якщо в Україні почнуть щороку будувати по 3000 км ЦБД, заводи зможуть забезпечити будівельників сировиною

В Україні довжина швидкісних магістралей – 280 км. Тоді як у сусідній Польщі – 1,5 тис. км. У Німеччині – 13 тис. В Іспанії – 15 тис. км. Українські дороги у поганому стані. Країна займає низькі позиції у рейтингах автомобільних шляхів.

Плюси бетонних доріг. Будівництво бетонних доріг дорожче, ніж асфальтобетонних. Але їхня експлуатація обходиться дешевше. Витрати на будівництво і експлуатацію зрівняються протягом 10 років.Такі дороги рідше ремонтують. Цемент не деформується у спеку під впливом вантажного транспорту. Гальмівний шлях на цементобетонних дорогах коротший. Краща видимість вночі [73].

Щоб змінити ситуацію та покращити українські дороги, слід усвідомити три важливих моменти:

— для відновлення всієї мережі доріг потрібно боротися за довговічність понад 15 років;

— потрібно використовувати ті технології, які працювали б на благо української економіки та добробуту громадян;

— необхідно мати незалежний контроль якості робіт з будівництва доріг.

В Україні лише 1% цементобетонних доріг. Приблизно 60—70% нових доріг, які сьогодні проектують у країнах ЄС, — цементобетонні. Такі показники — серйозний сигнал замислитися над тим, чому така практика не впроваджена в Україні.

Український інститут майбутнього та асоціація "Укрцемент" провели економічну оцінку цементобетонних доріг і отримали низку ґрунтовних результатів.

По-перше, *вартість цементобетонних доріг виявилася на рівні вартості асфальтобетонних чи й нижчою***.** Оскільки життєвий цикл автомобільних доріг для бетонної дороги — 20—25 років, а для асфальту — до 10 років. Загальна вартість цементобетонних доріг протягом 20 років на 40% і більше нижча, порівняно з вартістю асфальтобетонних.

По-друге, *понад 50% вартості асфальтобетонних доріг України становить імпортний бітум***.** Відповідно, при будівництві доріг знижується показник "чистого експорту" у структурі ВВП. Оскільки бітум є продуктом нафтопереробки, вартість будівництва доріг з асфальтобетону прямо залежатиме від світових цін на нафту та інших ризиків, пов'язаних з імпортом.

Тим часом будівництво цементних доріг повністю забезпечується сировиною, виробленою в Україні.

По-третє, запас виробничих потужностей цементної промисловості становить понад 30%, що дає змогу забезпечити будівництво цементобетонних доріг в Україні. А головне — ми можемо *повністю забезпечити українськими матеріалами* будівництво автомобільних доріг на основі цементобетону.

Розрахунки інституту свідчать, що будівництво бетонних доріг буде вигідним і державі, і платникам податків, Це може стати пріоритетом у розвитку дорожнього господарства. Дасть можливість:

— підвищити привабливість транзиту нашої держави;

— збільшити ВВП та інвестиції;

— замінити імпорт місцевим виробництвом;

— вирішити соціальну проблему забезпечення робочими місцями [73].

Вперше сталофібробетон в якості матеріалу був використаний для ремонту дорожніх покриттів в США. Завдяки своїй високій міцності, опору втомі, можливості укладання досить тонкими шарами, сталефібробетон володіє очевидними перевагами. Починаючи з 1972 року в США були здійснені досить

великі проекти в цьому напрямку, що включають влаштування покриттів міжміських шосе, міських вулиць, площадок для стоянок автомобілів (штати Мічиган, Айова, Міннесота). Довжина ділянки покриття дороги в штат Айова становила 8 км при ширині проїзної частини 6,7 м. Вміст сталевих фібр в покритті змінювався на різних ділянках дороги від 0,75 до 1,5 % за об'ємом. У штаті Міннесота в якості армуючих компонентів були застосовані відрізки сталевого дроту та скляні волокна. Товщина покриття варіювалась в межах від 51 до 102 мм [74, 75, 76, 77].

У аеропорту Мак Карен в м. Лас-Вегас (США) споруджена стоянка для літаків. Її площа 7300 кв.м, вона призначена для літаків з великою масою. Аналогічні покриття для стернових доріжок, злітних посадочних смуг є в Міжнародному аеропорту м. Тампа (США), Седар Репіндз (США), Джона Кенеді (США) і інших . На аеродромі в м. Лас-Вегас площа укладеного СФБ 51400м2, товщина 15см замість 30см із звичайного бетону. Укладання вели серійними бетоноукладачами [74, 78].

На території Росії значний обсяг досліджень з вивчення експлуатаційних характеристик сталефібробетонних покриттів доріг був проведений в Алтайському краї. Зведення покриття здійснювалося за допомогою бетоновкладальних машин (БУМ) [79, 80]. Товщина перерізу покриття становила 12 см. Спостереження за покриттям з моменту його зведення в 1982 р. по 1998 р. показало, що його стан в жорстких кліматичних умовах Алтайського краю був досить стабільним, не вимав капітального ремонту і відновлення. У той же час, експлуатаційні пошкодження на сусідніх ділянках автодороги виникали в значній кількості. Був зроблений висновок про можливість і доцільність подальшого застосування сталефібробетону при зведенні автодоріг з високою інтенсивністю руху (першої та другої технічних категорій). Дослідно-виробничі роботи по зведенню ділянки дороги з сталефібробетону показали наступне.

Дослідити характеристики, переваги та доцільність використання високоефективних матеріалів як сталефібробетон при будівництві автомобільних доріг і аеродромів.

В даній роботі виконано порівняльний аналіз трьох видів стальної фібри (різаної із листа, анкерної та хвильової), а також досліджено вплив технологічних параметрів на властивості сталефібробетону.

Результати досліджень. В сучасному будівництві все ширше застосовують фібробетон, для якого характерні підвищені значення міцності на розтяг, ударо- та вібростійкість, низька стираність та ряд інших покращених фізико-механічних властивостей [81,82,83]. Сталева фібра зазвичай виготовлена зі стального дроту довжиною від 30 до 80 мм, діаметром 0,5 - 1,2 мм, міцність при розтягу близько 1000 МПа і більше. Фібра може бути виготовлена з нержавіючої сталі, зі звичайної сталі з покриттям та без покриття. Бетонна матриця для всіх зразків виготовлялась із одного складу бетону [84, 85].

Кубову і призмову міцність визначались за стандартними методиками. На гідравлічному пресі П-250 у віці 28 діб при одноразовому монотонному навантаженні було встановлено, що призмова міцність бетону становить = 14,0 МПа, а кубова міцність – = 17,07 МПа.

Спостерігаючи за характером руйнування бетонних зразків з фібровим армуванням та без нього, виникає закономірність, що зразки із фіброю руйнувалися плавніше і в’язко без втрати форми зразка. Зруйновані зразки тримають форму і для того щоб розглянути розташування фібри, приходилось до розбивати їх рис. 1. Можна зробити висновок, що в бетоні із фіброю відбувається перерозподіл зусиль як показано на рис. 2 ,3, 4.

Рисунок 1 – Зруйнована призма із фібровим армуванням

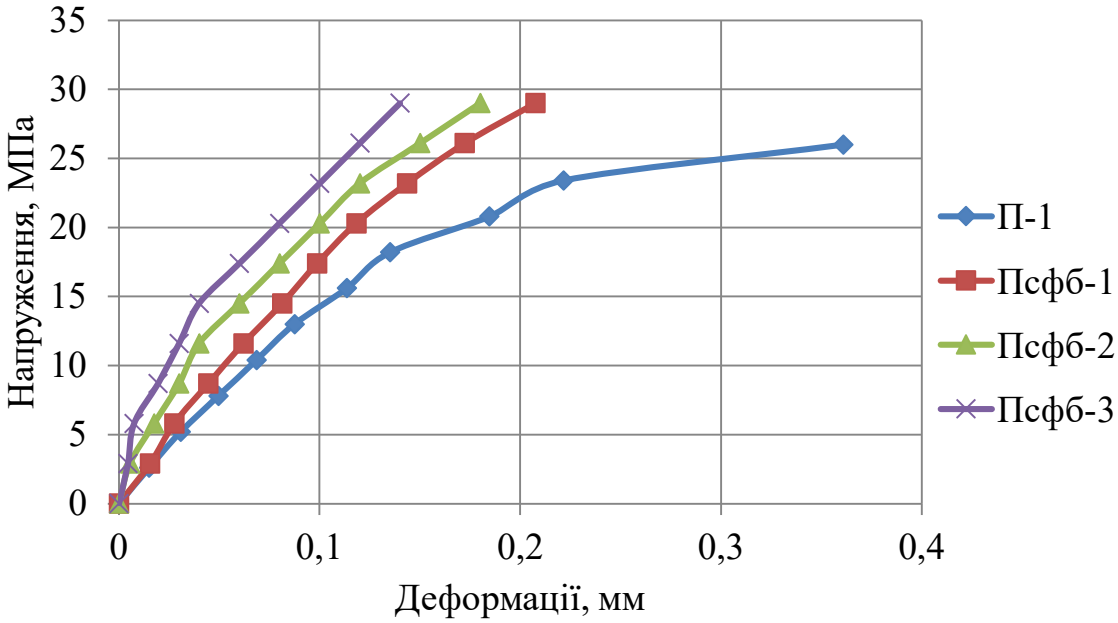


Рисунок 2 – Діаграма порівняння напруження-деформації бетонних зразків (1 серії) П-1 неармованого і зразків бетону армованого: фіброю різаною із листа $П_{сфб}$-1, анкерною фіброю $П_{сфб}$-2, фіброю хвильвою $П_{сфб}$-3.

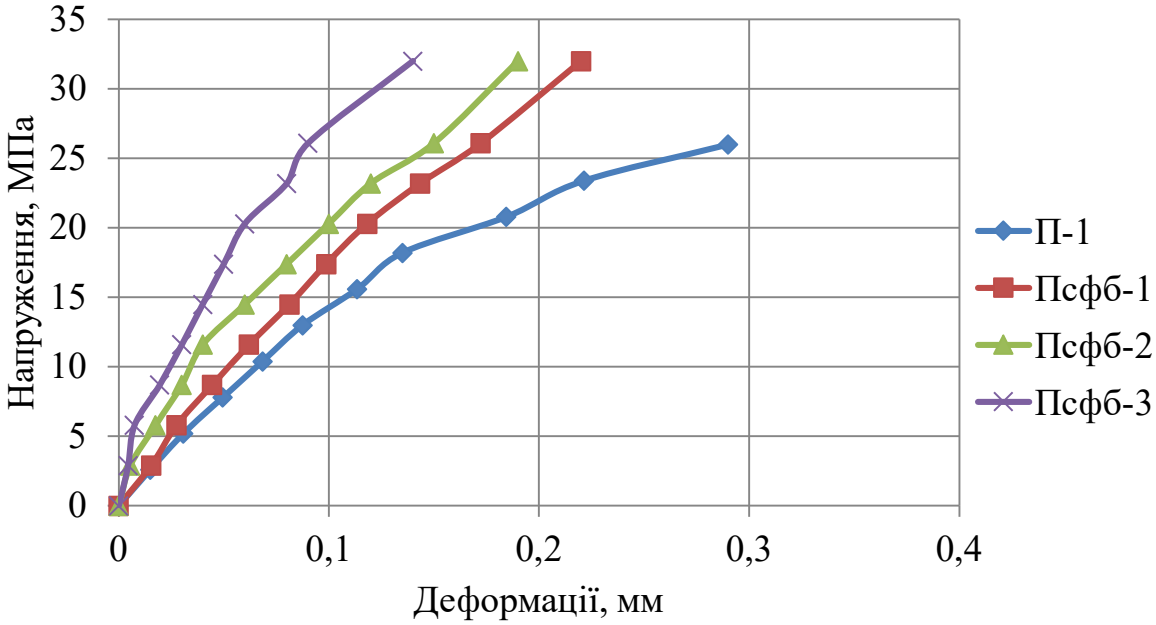


Рисунок 3 – Діаграма порівняння напруження-деформації бетонних зразків (2 серії) П-1 неармованого і зразків бетону армованого: фіброю різаною із листа $П_{сфб}$-1, анкерною фіброю $П_{сфб}$-2, фіброю хвильвою $П_{сфб}$-3.

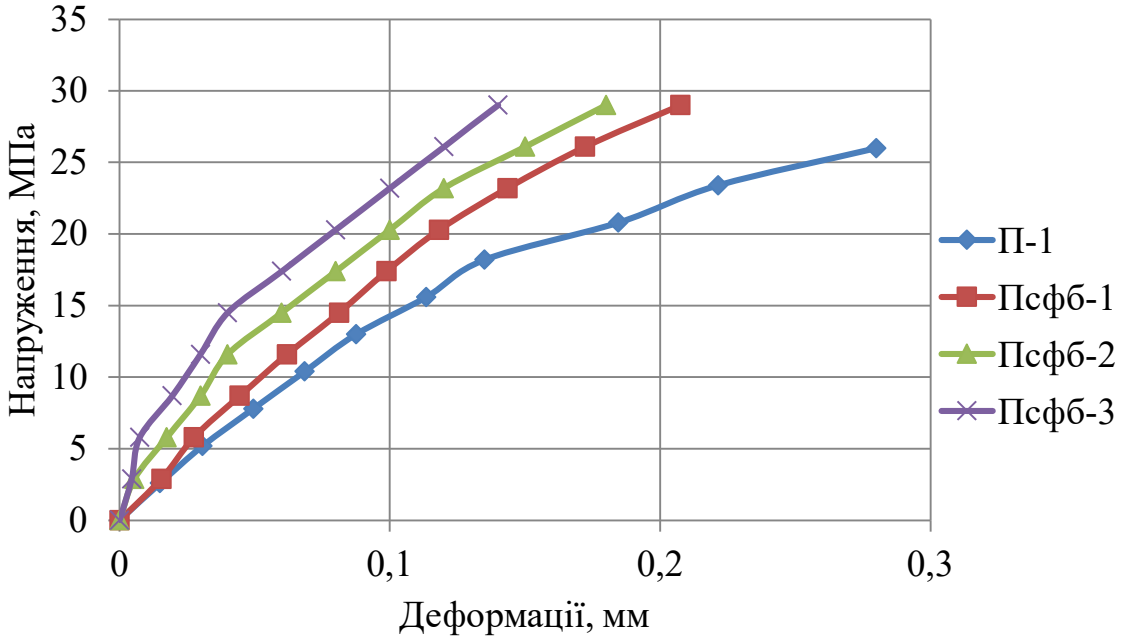


Рисунок 4 – Діаграма порівняння напруження-деформації бетонних зразків (3 серії) П-1 неармованого і зразків бетону армованого: фіброю різаною із листа $П_{сфб}$-1, анкерною фіброю $П_{сфб}$-2, фіброю хвильвою $П_{сфб}$-3.

При будівництві ефективність застосування сталефібробетону досягається зниженням трудовитрат на арматурні роботи, суміщенням технологічних операцій під час приготування, армування, укладання та ущільнення сталефібробетонної суміші, продовження терміну експлуатації конструкцій і зниження витрат на різні види поточного ремонту [86].

Можна констатувати високу стабільність і довговічність СФБ покриття без ремонтів і відновлення. Таким чином, було встановлено, що застосування автобетонозмішувачів при зведенні монолітних конструкцій зі сталефібробетонну виявляється досить ефективним і може бути рекомендовано для широкої практики в дорожньому будівництві. У цьому випадку створюються передумови для скорочення кількості технологічних операцій і підвищується продуктивність праці на будівельному майданчику.

Висновки. За даними проведених досліджень можна зробити наступні висновки. Вироби із сталефібробетону характеризуються підвищеною міцністю. Застосування, для армування бетонів, сталевої фібри, дозволяє:

— знизити масу бетонних виробів;

— фібра різана із листа збільшує марочну міцність бетону в середньому до 15%;

— фібра анкерна збільшує марочну міцність бетону в середньому до 20%;

—фібра хвильова збільшує марочну міцність бетону в середньому до 25%.

В результаті досліджень встановлено оптимальні шляхи збільшення міцності бетону на стиск шляхом введення до його складу дисперсної арматури у вигляді металевої.

За результатами досліджень були побудовані діаграми, які, в сукупності з комплексом отриманих експериментальних даних, можуть бути використані для проектування складів сталефібробетонів з комплексом заданих властивостей.. Додактовий ефект дисперсного армування на міцнісні властивості сталефібробетонів забезпечує, як показали експериментальні дослідження, орієнтація сталевої фібри.

Особливістю фібробетонів є відсутність крихкого руйнування і розвиток значних деформацій при втраті ними несучої здатності. Тому для розразунку конструкцій важливим показником є залишкова міцність, що визначається за діаграмою "напруження – деформація".

На основі аналізу експериментальних характеристик сталефібробетонів встановлено ефективність застосування для дрібнозернистих бетонів хвилястої сталевої фібри, що має підвищену поверхню зчеплення з бетоном.

Доведено, що застосування хвилястої сталевої фібри дрібнозернистого бетону на досліджуваних видах фібри дозволяє найбільше підвищити міцність на стиск до 35%.

DOI 10.46299/ISG.2021.MONO.TECH.II-169-202

1.7 Будівельні матеріали

Загальна теорія сприяє не тільки підвищенню якості та вдосконалення технології традиційних, а й створення нових будівельних матеріалів, тому в єдиній класифікації передбачені вакантні місця. Кожна вільна комірка класифікації може бути в свою чергу центром розвитку своєрідною групи матеріалів певного різновиду (наприклад, пористих або легких бетонів і т.д.). Однак ці групи і окремі в них матеріали продовжують залишатися пов'язаними з єдиною класифікацією, загальною теорією, загальними закономірностями, характерними для оптимальних структур.

Метою досліджень є створення нових будівельних матеріалів на відомих закономірностях, вивчених фізико-хімічних процесах з урахуванням раніше розроблених технологічних схем. Воно здійснюється за визначеною науково обґрунтованою системою, в якій вихідні положення прогнозування поєднуються з новими експериментальними дослідженнями.

Завдання досліджень - дослідити структуру виробів на різних заповнювачах та їх склад. Оптимальна структура матеріалу можлива при будь-якому заповнювачі, хоча найбільш економічними і технічно раціональними є склади з максимальною щільністю упаковки його частинок і, отже, з найменшою витратою в'яжучої речовини в матеріалі.

Таким чином, на основі аналізу літературних джерел і дослідження сировинних ресурсів з вивченням якісних показників в’яжучої речовини можна визначити оптимальну структуру в’яжучої речовини і встановити фазове відношення.

Серед основних положень прогнозування наступні:

Завжди неминучий якісний стрибок до оптимальної структури матеріалу і період через екстремум показників властивостей у міру кількісного накопичення дисперсійного середовища в системі з переходом її з дискретного в злитий плівковий стан по поверхні твердої фази.

Будівельні матеріали досліджують різноманітними методами, які володіють тією здатністю, що при дослідженні якісних показників компонентів, нових складів, технологічних удосконалень і т.п. може бути застосована єдина методична основа. Вона полягає в тому, що досліджувані явища і характеристики порівнюють у відповідних умовах. Більш часто ці порівняння поки виробляють при рівних, а не відповідних умовах технологічних операціях, що дорівнює витраті компонента і т.п. Таке порівняння правомірно тільки в окремому випадку. Не можна, наприклад, без урахування структурних особливостей робити висновки про ідентичність якості двох матеріалів, що володіють однаковою міцністю або іншими однаковими властивостями. При вирішенні деяких практичних завдань в області важких цементних бетонів якісні показники порівнюють при однаковому водоцементному відношенні. Таке порівняння не враховує можливої відмінності в структурі бетонів, оскільки при однакових водоцементних відношеннях структури можуть бути порфіровими і контактними, з надлишком або недоліком в'яжучої частини, високопористі і щільні і т.д.

Будучи гетерогенною полідисперсною системою, окремі компоненти твердої фази по-різному відносяться до різних рідин. Будь-які рідини здатні їх розчиняти з різним ступенем інтенсивності. Вода розчиняє мінеральні солі і рухливі фракції гумінових кислот. Розчинення супроводжується зміною первісної щільності розчинника. Якщо, за рідину узята вода, то перехідні в розчин іони гідратизуються.

Показники набрякання цементного каменю у воді, звичайно, тим більше, чим менше водоцементний фактор. Через декілька років набрякання звичайно припиняється. Цементний камінь, який на тривалий час поміщено у воду, набрякає. Припускають, що останнє обумовлено посиленням процесів гідратації й розвитком осмотичного тиску в гелевидних масах. Вони викликають не тільки набрякання, але і розірвання гелевих оболонок, окремі частинки яких, розміщаючись між стичними зернами цементу, розсовують їх.

Перша умова, що визначає успішність аналізу, - явище змочування рідиною всієї поверхні часток. Неповне змочування веде до завищення шуканого показника об’єму узятого для аналізу навішення за рахунок порожнеч на границі зіткнення фаз, заповнених повітрям. Цьому сприяє нерівна поверхня часток. Фізична сутність змочування розкривається в молекулярній взаємодії рідини з поверхнею твердого тіла на границі зіткнення трьох фаз. У процесі змочування повітря витісняється і рідина входить у безпосередній контакт із поверхнею твердої фази. Вологу, що утримується в бетоні, звичайно класифікують по розміру енергії її зв'язку з його складовими. Узагалі, розрізняють три великі групи зв'язку вологи з матеріалом: хімічну, фізико-хімічну, фізико-механічну. При необхідності розрахунку вологісних полів бетону хімічне зв'язування води варто враховувати як розподілене по обсязі тіла внутрішнє стікання вологи. При звичайних температурах ця волога не може брати участь у процесах вологообміну із зовнішнім середовищем. Вона може бути віддалена в результаті хімічного впливу або прожарювання.

Процеси, зв'язані зі збільшенням утримання вологи або її видалення з бетону, неминуче супроводжуються накопиченням або витратою енергії, що залежить від відновлення або порушення форм зв'язку води з бетоном.

При обмиванні бетону прісною (із малою тимчасовою жорсткістю) водою або фільтрації такої води через нього спостерігається його руйнація, яка отримала назву - корозія 1-го виду. Цей вид корозії обумовлено розчинністю окремих компонентів цементного каменю. Корозія бетону 1-го виду спостерігається в бетоні різноманітних споруджень: конструкції гідротехнічних споруджень, стіни шлюзів, бетонні труби й лотки для відведення поверхневих вод, тунельні оздоблення й ін.

Неповне змочування веде до завищення шуканого показника об’єму узятого для аналізу навішення за рахунок порожнеч на границі зіткнення фаз, заповнених повітрям. Цьому сприяє нерівна поверхня часток.

Фізична сутність змочування розкривається в молекулярній взаємодії рідини з поверхнею твердого тіла на границі зіткнення трьох фаз. У процесі

змочування повітря витісняється і рідина входить у безпосередній контакт із поверхнею твердої фази.

Вологу, що утримується в бетоні, звичайно класифікують по розміру енергії її зв'язку з його складовими. Узагалі, розрізняють три великі групи зв'язку вологи з матеріалом: хімічну, фізико-хімічну, фізико-механічну.

Хімічний зв'язок води в бетоні в результаті хімічних реакцій гідратації цементу здійснюється в точних кількісних стехіометричних співвідношеннях. Кількість хімічно зв'язаної води залежить від мінералогічного складу в'яжучого.

При необхідності розрахунку вологісних полів бетону хімічне зв'язування води варто враховувати як розподілене по обсязі тіла внутрішнє стікання вологи. При звичайних температурах ця волога не може брати участь у процесах вологообміну із зовнішнім середовищем. Вона може бути віддалена в результаті хімічного впливу або прожарювання. Фізико-хімічно (адсорбційно) зв'язана вода присутня на гідратних оболонках кристалів. Причина виникнення цього зв'язку - наявність силових полів атомно-молекулярної природи. Найбільше міцно зв'язаний мономолекулярний прошарок води. Наступні прошарки утримуються із силою, що слабшає. Такий полі молекулярний прошарок адсорбційної води складає приблизно декілька сотих діаметрів водяних молекул. Адсорбційно-зв'язана вода володіє певними властивостями, що відрізняють її від звичайної води. Так, унаслідок підвищеної щільності, ця вода має властивості пружного тіла і виконує розклинюючу дію. Адсорбційний зв'язок води в бетоні відноситься до числа зв'язків середньої інтенсивності, що можуть бути зруйновані десорбцією й випаром, проте для цього потрібно визначений час.

Фізико-механічний зв'язок у бетоні виникає завдяки капілярним силам (у мікрокапілярах) і здійснюється чисто механічно (у макрокапілярах). Ця вода легко віддалиться випаром або штучним створенням тиску більше капілярного (наприклад, вакуумуванням).

Фізичні деформації набрякання називають іноді власними деформаціями на відміну від тих, що виникають у тілі цементного каменя або бетону під дією зовнішніх сил. Аналізовані тут процеси набрякання не варто змішувати зі

збільшенням його обсягу, що викликається гідратацією окису кальцію або магнію, а також утворенням еттрингіту.

Процеси, зв'язані зі збільшенням утримання вологи або її видалення з бетону, неминуче супроводжуються накопиченням або витратою енергії, що залежить від відновлення або порушення форм зв'язку води з бетоном.

При обмиванні бетону прісною (із малою тимчасовою жорсткістю) водою або фільтрації такої води через нього спостерігається його руйнація, яка отримала назву - корозія 1-го виду. Цей вид корозії обумовлено розчинністю окремих компонентів цементного каменю. Корозія бетону 1-го виду спостерігається в бетоні різноманітних споруджень: конструкції гідротехнічних споруджень, стіни шлюзів, бетонні труби й лотки для відведення поверхневих вод, тунельні оздоблення й ін.

Вапно у твердій фазі, гідросилікати, гідроалюмінати, гідроферити визначають міцність кристалізаційних контактів у цементному камені. Тому вилуджування вапна - розчинення $Ca(OH)_2$, що знаходиться у твердій фазі, розкладання інших з'єднань з утворенням гелю, що не володіє в'яжучими властивостями, знижує міцність цементного каменю в бетоні і, як наслідок, самого бетону.

Як уже відзначалося, якщо цементний камінь або бетон, вологість якого відповідає відносної вологості навколишнього середовища, помістити в середовище з більш високою вологістю, то він продовжує поглинати пари води, поки не установиться нова рівноважна вологість. Цей процес супроводжується збільшенням обсягу - набряканням. Якщо воложити цілком висушений зразок цементного каменю, то процес починається із заповнення вологою гелевих пір і капілярів, а також проміжків між площинами кристалічної решітки.

При обмиванні бетону прісною (із малою тимчасовою жорсткістю) водою або фільтрації такої води через нього спостерігається його руйнація, яка отримала назву - корозія 1-го виду. Цей вид корозії обумовлено розчинністю окремих компонентів цементного каменю. Корозія бетону 1-го виду спостерігається в бетоні різноманітних споруджень: конструкції гідротехнічних

споруджень, стіни шлюзів, бетонні труби й лотки для відведення поверхневих вод, тунельні оздоблення й ін. Явище змочування характеризується величиною кута змочування і поверхнею натягу.

Якщо на гладку тверду поверхню помістити краплю якої-небудь рідини, то під впливом молекулярних сил, що діють між твердим тілом і рідиною, тобто адгезійних сил, і сил, що діють усередині рідини, тобто когезійних сил, зазначена крапля буде мати різну форму, або ж розтечеться. Когезійні сили прагнуть додати краплі велику форму. Адгезійні сили, навпаки, обумовлюють притягання рідини до твердої поверхні. Та частина поверхні краплі, що стикається з гладкою поверхнею твердого тіла, утворить у розрізі пряму. Інша частина утворить криву. Кут усередині рідини між площиною розділу твердої і рідкої фаз, і дотичної, минаючі через крапку, де крива перетинає площину, і називається кутом змочування.

Кут змочування визначається формулою:

$$\cos\theta = \frac{\sigma_1}{\sigma_2} - 1. \qquad (1)$$

де σ_1 - робота адгезії; σ_2 - робота когезії.

З приведеної формули виявляється, що кут змочування визначається відношенням адгезії рідини до твердого тіла і когезією самої рідини. Якщо зазначені когезійні і адгезійні сили рівні, або ж когезійні сили перевищують адгезійні, то тверда поверхня не змочується рідиною і дорівнює 90°, або має більшу величину. Явище змочування має місце при значенні менше 90°. При повному змочуванні дорівнює 0°.

Не менш важливою умовою є відсутність хімічних взаємодій між рідиною і твердими часточками. Будучи гетерогенною полідисперсною системою, окремі компоненти твердої фази по-різному відносяться до різних рідин. Будь-які рідини здатні їх розчиняти з різним ступенем інтенсивності. Вода розчиняє мінеральні солі і рухливі фракції гумінових кислот. Розчинення супроводжується зміною первісної щільності розчинника. Якщо, за рідину узята

вода, то перехідні в розчин іони гідратизуються. Згущення молекул води навколо іонів обумовлює перемінну щільність води в об'ємі, що викликає перекручування результатів виміру об'єму твердої фази убік зменшення. Зазначене перекручування тим більше, чим вище розчинність твердої фази.

У аналізі, аналітик завжди зіштовхується з явищем поглинання повітря і газів досліджуваним навішенням зразка.

1) адсорбція - згущення газу на твердій поверхні;
2) абсорбція - поглинання газу за рахунок дифузії в масу твердого тіла;
3) хемосорбція - хімічна взаємодія з твердим тілом;
4) капілярна конденсація - поглинання пари в результаті її конденсації в порах твердого тіла.

У природних умовах поровий простір зайнято водою і повітрям. При цьому поверхня часток завжди покрита водою. Молекули повітря в безпосередній контакт із поверхнею не вступають, тому що адгезійні сили між водою і поверхнею твердої фази перевищують адгезійні сили між повітрям і зазначеною поверхнею.

Процес сорбції повітря супроводжується виділенням тепла, що вказує на складну фізичну і хімічну взаємодію між складовими частинами повітря і твердою фазою. Теплота молекулярної адсорбції (адсорбції силами Ван-дер-Ваальса) складає менше 16,7 кдж/мол. Теплота хімосорбції газів значно вище: 41,9-837,4 кдж/мол. Молекулярна сорбція і хемосорбція газів протікають одночасно в результаті взаємодії ненасичених силових полів поверхневих атомів твердого тіла із силовими полями молекул повітря.

Взаємозв'язок між вологістю і кількістю в ній поглиненого повітря виражається рівнянням:

$$V = e^{c_1 x + c_2} \qquad (2)$$

де V - поглинене повітря; x - вміст води; c_1 і c_2 - константи; e - основа натуральних логарифмів.

Вище ми розглянули явище сорбції і десорбції повітря на твердій поверхні часток і вказали, що змочування є першою стадією молекулярної взаємодії між зазначеною поверхнею і рідиною.

Зміна щільності води зв’язана зі змінами в її структурі. Нерівномірний розподіл електронної щільності в молекулі води говорить про її будівлю і електричну асиметрію з дипольним моментом 1,86. Кожна молекула по характеру розподілу електронної щільності являє собою тетраедр із двома негативно і з двома позитивно зарядженими полюсами. За допомогою водневого зв’язку кожна молекула води здатна зв’язуватися з чотирма найближчими до неї іншими молекулами. Така тверда тетраедна структура характерна для твердого агрегатного стану води - для льоду, що має найменшу щільність Один із чинників, що визначають інтенсивність руйнації бетону - його вологісний стан. Вода не тільки є одним із найважливіших компонентів бетонної суміші й бетону, але і середовищем, що впливає на конструкції, що експлуатуються. Довговічність бетону залежить від кількості й співвідношення різноманітних видів вологи в його структурі, а також впливу води як експлуатаційного середовища.

Вологу, що утримується в бетоні, звичайно класифікують по розміру енергії її зв'язку з його складовими. Узагалі, розрізняють три великі групи зв'язку вологи з матеріалом: хімічну, фізико-хімічну, фізико-механічну.

Мінерали цементного каменю (гідросилікати, гідроалюмінати й гідроферити) можуть стійко існувати у твердій фазі тільки в тому випадку, коли концентрація $Ca(OH)_2$ у воді, яка знаходиться у бетоні, залишається вище визначеної рівноважної для даного мінералу концентрації.

У початковій стадії дії прісної (із малою тимчасовою жорсткістю) води на бетон концентрація $Ca(OH)_2$ залишається рівною концентрації насиченого розчину (при температурі 20°С - 1,18 гр/л у розрахунку на CaO) у результаті розчинення вапна, що знаходиться у твердій фазі. Маса вільного вапна в портландцементному камені складає в 3-місячному віці біля 15% маси цементу. Після розчинення й виносу усього вільного вапна його концентрація у

граничному обсязі бетону відновляється внаслідок переходу в рідку фазу кальцію, хімічно зв'язаного в мінералах цементного каменю.

Метою досліджень є створення нових будівельних матеріалів на відомих закономірностях, вивчених фізико-хімічних процесах з урахуванням раніше розроблених технологічних схем. Воно здійснюється за визначеною науково обґрунтованою системою, в якій вихідні положення прогнозування поєднуються з новими експериментальними дослідженнями.

Завдання досліджень - дослідити структуру виробів на різних заповнювачах та їх склад. Оптимальна структура матеріалу можлива при будь-якому заповнювачі, хоча найбільш економічними і технічно раціональними є склади з максимальною щільністю упаковки його частинок і, отже, з найменшою витратою в'яжучої речовини в матеріалі. Доцільно збільшувати питому і сумарну поверхню заповнювача в міру збільшення його кількості в матеріалі паралельно з підвищенням фазового співвідношення у в'яжучої речовині. При цьому частина вільного середовища переходить з об'ємного в плівковий стан за умови збереження легкоукладуваності суміші в допустимих межах.

Дослідити збільшення питомої і сумарної поверхонь заповнювача в матеріалі яка досягається шляхом додавання дрібнозернистого компонента - піску, порошку і т.д., з можливим пониженням вмісту крупнозернистих фракцій. Як зазначено, додавання дрібнозернистого компонента в заповнювач проводиться в зростаючій кількості з одночасним зростанням фазового відношення в в'яжучий речовині; з достатнім ступенем наближення до істини доцільно приймати, що лінія оптимальних структур описується гіперболічною залежністю $y = a/x^b$, в якій всі члени мають суворо певний фізичний зміст.

Кожній точці кривої оптимальних структур в системі координат << фазове відношення в'яжучої речовини -вміст заповнювача >> практично завжди відповідає комплексу найбільш сприятливих показників будівельних та експлуатаційних властивостей.

Постадійне здійснення творчого процесу створення нових видів матеріалів полягає в наступному.

Перша стадія включає детальне вивчення найбільш ймовірної в'яжучої речовини. На початку встановлюється мінімально можливий комплекс показників головних технічних властивостей матеріалу, що характеризує його високу якість і експлуатаційний період. З цього комплексу показників орієнтують якісні показники в'яжучої речовини.

Так наприклад, якщо головними якісними показниками є міцність, то ті ж показники визначають основну рису і в'яжучого. На стадії лабораторних випробувань передбачуваної сировини для в'яжучої речовини (природних, відходів виробництва, штучного продукту і т.п.) властивості визначаються на зразках, виготовлених за технологією, схожою за можливості з технологією виробництва матеріалу. Якщо ж остання поки що не відома, тоді за деякою умовно прийнятою технологією з подальшим корективом.

Оптимальну структуру в'яжучого непрямо встановлюють шляхом поступового підвищення фазового відношення *с/ф* в зразках до екстремального значення показника властивостей в прийнятих умовах технології виготовлення і випробування. Якщо визначальними властивостями виробу є міцність і будь-яке інше властивість, наприклад теплоопір, то з'ясовуються показники обох властивостей в'яжучого. При необхідності зниження теплопровідності можна досягти впровадженням поризуючих добавок з урахуванням допустимого зниження міцності в'яжучої речовини при цій поризації. Якщо важливо зберегти в певних межах оборотні деформації-пружні і пружньовязкі (еластичні), то ці властивості в'яжучої речовини також вивчають при оптимальній структурі.

Процес вивчення сировини для в'яжучого ґрунтується на законах створу і обов'язкової відповідності властивостей. Дослідження починається з сировинних ресурсів, з вивчення необхідного рівня якісних показників в'яжучої речовини; шляхів і засобів поліпшення головних властивостей в'яжучого, наприклад введенням додаткових компонентів, каталізаторів, затверджувачів, з'єднанням з традиційними в’яжучими речовинами, використанням технологічних прийомів (подрібнення, збільшення інтенсивності ущільнення, перемішування, тепловою обробкою і ін.). Далі з'ясовують окремі деталі технології виготовлення в'яжучої

речовини, пропонують методи оцінки її якості, подібні з відповідними методами оцінки якості.

Таким чином, на основі аналізу літературних джерел і дослідження сировинних ресурсів з вивченням якісних показників в'яжучої речовини можна визначити оптимальну структуру в'яжучої речовини і встановити фазове відношення.

Серед основних положень прогнозування наступні:

Завжди неминучий якісний стрибок до оптимальної структури матеріалу і період через екстремум показників властивостей у міру кількісного накопичення дисперсійного середовища в системі з переходом її з дискретного в злитий плівковий стан по поверхні твердої фази.

Взаємодія твердої і рідкої фаз відбувається за участю молекулярних і електричних сил. Як відомо, по Коену, у цьому процесі фаза, що володіє більшою діелектричною постійною, одержує позитивний заряд, а фаза з меншою діелектричної постійною заряджається негативно. Діелектрична постійна твердої фази значно нижче в порівнянні з водою й одержує позитивний сумарний заряд. Під впливом зазначеного силового поля вільної енергії поверхні водневі зв'язки між тетрапольними молекулами води руйнуються, і вони орієнтуються, збираючись навколо твердих часток. Позитивні полюси молекул води спрямовані до твердої поверхні, а негативні - до рідкої фази. Вивільнювана при цьому енергія, названа теплотою змочування, є не результатом зниження кінетичної енергії теплового руху молекул, а являє собою залишкову теплоту гідратації іонів, що утворюють поверхню твердої фази. Властивості зв'язаної води відрізняються від властивостей вільної води не тільки підвищеною щільністю, але і меншою діелектричною постійною, електропровідністю, в'язкістю, температурою замерзання, меншим тиском насиченої пари і осмотичним тиском.

В якості в'яжучих приймають портландцемент, глиноземестий цемент, будівельний гіпс, магнезіальні в'яжучі речовини і ін. Полімерами служать природні, але частіше синтетичні речовини. Серед цих в'яжучих зазвичай

відзначають каучуки дивінільні і дивінілстирольні, полівінілацетат, полівінілхлорид, поліакрилати і поліметакрилат, кремнійорганічні і ін., а також поєднані полімери. З природних - натуральний каучук (латекс), бітуми, дьогті і пеки, вуглеводи (декстрин, альгінова кислота), протеїни (казеїн) і ін.

Вибір затверджувачив - каталізаторів реагентів - обумовлений видом і характером застосовуваного полімеру. Полімерні речовини вводять в змішувальний апарат у вигляді водних дисперсій, водорозчинних полімерів або мономерів. При контакті водної дисперсії - латексу, емульсії - з порошкоподібною в'яжучою речовиною в змішувальному апараті відбувається коагуляція дисперсії, в результаті якої вивільнена речовина бере участь в утворенні цементно - полімерного каменю.[Найпоширенішим видом водної дисперсії в цементно - полімерних в'яжучих речовинах і бетонах поки є дисперсія поливінілацетату, в якій міститься близько 50% твердих частинок, близько 15% пластифікатора (зазвичай дибутілфлаталат), деяка кількість поливінілового спирту як захисного коллоїда.Останій має гарну розчинність в воді , яка, однак, помітно знижується зі збільшенням молекулярної ваги поливінілацетата. При введенні синтетичних каучуків, наприклад бутадієнстирольного каучуку у вигляді латексу, останні можуть розглядатися слабогідрофільними колоїдами, такими, як казеїн, амоній, або альгінат натрію, які володіють властивостями захисних колоїдів - стабілізаторів. Стабілізатори попереджають передчасну коагуляцію латексу при змішуванні з цементом. Для цих цілей крім гідрофільних колоїдів використовують електроліти, наприклад розчині солі, поташу, їдкого лугу. Деякі з електролітів не уповільнюють, а прискорюють процес структуроутворення цементно - полімерного каменю, модифікують кристалізаційне утворення і твердіння цементно - полімерних композицій.[1-3].

Крім водних дисперсій, як зазначено, вводять водорозчинні полімери. Розчини високополімерів містять окремі макромолекули, а при високих концентраціях - рої або асоціати макромолекул. Від водних дисперсій вони відрізняються зазвичай підвищеною в'язкістю. До водорозчинних полімерів відносять продукти полімеризації суміші епіхлоргідриних і

метафенілендіаміних, продуктів поліконденсації сечовини і формальдегіду, епоксидний полімер, ді-і тріетіленгліколіеві полімери та ін. Залежно від різновиду розчинних полімерів в їх молекулах присутні групи епоксидні, гідроксильні, аміногрупи та ін., які надають підвищену реакційну здатність з полярними поверхнями, кремнеземистими компонентами. Кількість введення полімерів обмежується 1-3% (в перерахунку на суху речовину). Для затвердіння зазвичай потрібно нагрівання, або введення затверджувачів.

Серед багатьох робіт, що проводилися з вивчення мономерів, слід відзначити застосування фурілового спирту з додаванням 10-15% по масі солянокислого аніліну. При взаємодії цих мономерів утворюється фуріланілін у вигляді в'язкої рідини, нерозчинної у воді. Процес полімеризації цієї смоли і її затвердіння можуть бути прискорені за рахунок підвищення кількості солянокислого аніліну, або додавання хлорного заліза, хлористого кальцію та ін.

До складу цементно - полімерної речовини додають наповнювачі, кількість яких може бути досить значною (в десятках відсотків).

Вибір виду та призначення кількості наповнювачів, а також заповнювачів роблять з урахуванням полімерної речовини. На вибір наповнювача при даному полімері істотний вплив роблять вміст мінералів і їх хімічний склад. Так, за деякими даними (В.І.Соломатов), встановлено, що середні гірські породи (наприклад андезити) найбільш придатні в якості наповнювачів фуранових (кислих) сполук. Використання кислих і основних порід для виготовлення наповнювачів фуранових смол зажадає попередньої модефікації поверхні зерен і частинок цих наповнювачів. Ефективним мікронаповнювачем фуранів є пірит, і карбонатні породи, особливо доломіт, доцільні для наповнення епоксидних і поліефірних сполук.

Механізм затвердіння цементно - полімерних сумішей залишається поки недостатньо вивченим. У процесах структуроутворення беруть участь обидва основні компоненти, але хімічної взаємодії між неорганічною в'яжучою речовиною і полімером не відбувається, або відбувається в набагато більш слабкому ступені, ніж фізико-хімічна взаємодія. Паралельно із загальним

процесом твердіння цементного тіста з'являється, мабуть контактування глобул полімеру між собою з утворенням агрегатів.

Останні заповнюють пори, капіляри та інші порожнини кристалічних зростків, покриваючи тонкою плівкою окремі кристали клінкеру і новоутворень, збільшуючи щільність і еластичність (деформативність) формуємого цементного каменю. Мікроструктура набуває характеру (шарнірного) зчленування контактуючих частинок. У разі застосування водорозчинного полімеру одночасно протікає процес подальшої полімеризації, або поліконденсації з переходом полімеру в нерозчинний стан.

При значному вмісті полімерів, наприклад 10-30% по масі, в'яжучи речовини (і бетони) прийнято називати полімерцементними. Кристали новоутворень повністю роз'єднуються порівняно товстими полімерними плівками, що запобігають формування кристалічного каркаса. Останнє призводить до деякого погіршення властивостей затверділого каменю, отриманого на основі полімерцементного в'яжучого. В середньому терміни затвердіння полімерцементного тіста в повітряно сухих і вологих умовах помітно сповільнюються в порівнянні з твердінням звичайного цементного тіста.

Твердіння супроводжується підвищеними об'ємною усадкою і набуханням, які проявляються тим повніше, чим більше міститься полімеру в в'яжучому. У місці з тим полімер, що знаходиться в комбінованих в'яжучих речовинах, сприяє зростанню міцності цементно-полімерного і полімерцементного каменю на розтягнення, вигин і удар, особливо якщо його кількість знаходиться в оптимальних межах. Цей камінь має також підвищену адгезійну здатність і хімічну стійкістю.

Процеси структуроутворення протікають найбільш інтенсивно при застосуванні високо- і середньоалюмінатних цементів, особливо в присутності водорозчинних полімерів. Можливо припустити утворення деяких комплексних сполук, в які входять алюмінати кальцію і водорозчинні полімери. За даними А.В.Саталкіна, полімери надають активний вплив на переважне виникнення

низькоосновних гідросилікатів кальцію, причому ступінь кристалізації продуктів гідратації цементу зі смолами підвищується.

При введенні смоли в цемент були виявлені міцні міжмолекулярні зв'язки між ланками смоли *NH*- групи і структурою силікату, зокрема його групами *Si - O - H*, здатними до утворення водневих зв'язків.

Відзначено навіть виділення вільного водню, як продукту хімічної реакції алкілсілоксанів з гідратом окису кальцію. Вільний водень частково поризує матеріал, утворюючи систему сітчастих замкнутих пор. Поризація сприяє також втягуванню повітря, здатністю, до якого мають більшість водних дисперсій термопластичних полімерів і водорозчинних олігомерів, а також водорозчинних мономерів.

Структура затверділого цементно - полімерного в'яжучого представляється (по Л.Гріффітсу) складається з просторової сітки полімеру, розташованої в тривимірній сітці закристалізованого цементу, або іншого неорганічного в'яжучого, речовини, яка є безперервною фазою цементно - полімерного каменю. Істотний вплив на структуру каменю надає вагове полімерцементне відношення П/Ц. При П/Ц≈0,2 зрощені кристали новоутворень затверділого цементу створюють кристалізаційну мікроструктуру каменю, яка частково заповнюється в дефектних областях (пори, тріщини) полімером. В результаті цементно - полімерний камінь зміцнюється і набуває підвищену деформативність. При вагових відношеннях П/Ц, більших, ніж 0,2, полімер утворює безперервну просторову конденсаційну структуру, тобто переважає суцільна фаза полімерів, яка тим жорсткіше, ніж більше і краще розвинені місцеві кристалізаційні блоки, отримані за рахунок зрослих цементних кристалів новоутворень. При вмісті близько 8-10% полімеру (наприклад, полівінілацетату) від маси цементу (на суху речовину) утворюються плівки навколо зерен цементу, а дія його подібна до дії пластифікатора.

На думку проф. Шішкіна О.О. який вважає, що оптимальне співвідношення полімеру до цементу (в одиницях об'єму) для полівінілацететцемента відповідає 1:1 (вагове П/Ц приблизно дорівнює 0,25). В цілому залишається, однак,

нез'ясованим відношення маси полімеру до маси мінерально в'яжучої речовини, при якому полімер переходить з дискретної в безперервну просторову сітку в структурі утворення каменю.

Для більш тісного контакту наповнювача з комбінованою в'яжучою речовиною розроблені способи модифікації поверхні частинок фізико-хімічною активацією. Для цієї мети застосовують різні катионо- і аніоно активні добавки. З позитивного боку зарекомедовала себе модифікація кварцових порошків катіоноактивні речовини, наприклад, октадецімін і особливо катапін. Для модифікації наповнювачів фуранових полімербетонів рекомендовані в якості активаторів алкілхлорсілони, поліефірні алкілсілони і т.д.

Таким чином, на основі аналізу літературних джерел і дослідження сировинних ресурсів з вивченням якісних показників в’яжучої речовини можна визначити вибір виду та призначення кількості наповнювачів, а також заповнювачів з урахуванням полімерної речовини. На вибір наповнювача при даному полімері істотний вплив роблять вміст мінералів і їх хімічний склад.

Будівельні матеріали досліджують різноманітними методами. При дослідженні якісних показників компонентів, нових складів, технологічних удосконалень і т. п. Може бути застосована єдина методична основа. Вона полягає в тому, що досліджувані явища і характеристики порівнюють у відповідних умовах. Часто ці порівняння робляють при рівних, а не відповідних умовах, наприклад при рівній міцності, рівному фазовому складі, однакових технологічних операціях, що дорівнює витраті компонента і т.п. Тим часом таке порівняння правомірно тільки в окремому випадку. Не можна, наприклад, без урахування структурних особливостей робити висновки про ідентичність якості двох матеріалів, що володіють однаковою міцністю або іншими однаковими властивостями.

Нерідко, наприклад, при вирішенні деяких практичних завдань в області важких цементних бетонів якісні показники порівнюють при однаковому водоцементному відношенні. Таке порівняння не враховує можливої відмінності в структурі бетонів, оскільки при однаковому водо-цементному відношенні

структури можуть бути порфіровими і контактними, з надлишком або недоліком в'яжучої частини, високопористі і щільні, і т.д.

До однієї з поширених технологічних завдань відносять вибір найкращого різновиду в'яжучого для матеріалу, виготовленого за прийнятою технологією. Найпоширеніший спосіб вирішення цього завдання полягає в паралельному виготовленні виробу на основі різних в'яжучих, але з дотриманням однакових умов і складів. Після випробування відповідних зразків порівнюють отримані результати і за якісними показниками виносять рішення про перевагу того чи іншого в'яжучого. Робота ця пов'язана з випробуванням великої кількості зразків, навіть якщо останнє розраховане з використанням методу математичного планування експерименту. Отримувані середні статистичні дані потребують подальших уточнень, так як вони охоплюють широку область оптимальних і неоптимальних структур.

Метод вирішення такого завдання з позицій загальної теорії, полягає в тому, що порівнюються властивості в'яжучих речовин при їх оптимальних структурах. І тому якщо серед порівнюваних речовин було знайдено в'яжуче з найкращими показниками якості, то по закону обов'язкової відповідності властивостей воно буде найкращим і у виробі при прийнятих технологічних умовах і режимах. Отримані відомості про показники властивостей служать, крім того, вихідними даними при подальшому проектуванні оптимального складу, який повністю задовольняє заданим технічним вимогам. Якщо в ході вивчення виявиться, що в'яжуча речовина має властивості, показники яких гірше необхідних, наприклад міцність в'яжучого оптимальної структури нижче необхідної міцності, то цей метод вирішення допомагає встановити неспроможність спроб створення на його основі заповнювача необхідної якості. Буде потрібно проведення додаткових досліджень щодо підвищення якості вихідної в'яжучої речовини.

З цією метою вишукують доступні і прямі методи поліпшення властивостей в'яжучого введенням додаткових речовин, зміною режиму твердіння (що має знайти повне відображення у майбутній технології виробництва); попередньою

обробкою в'яжучого або його окремих інгредієнтів і т.п .; вишукують методи опосередкованого впливу на якісні показники в'яжучого при виготовленні за рахунок застосування активних наповнювачів, здатних компенсувати і підняти недостатній показник в'яжучої частини (наприклад, межа міцності при розтягуванні за рахунок введення армуючого заповнювача).

Метод оцінки в'яжучої речовини як мікродісперсний, зручний не тільки тому, що одержувані характеристики можуть бути використані в якості розрахункових, при визначенні тих же характеристик на його основі, а й тому, що вони фіксують гранично можливі значення показників якості.

Вибір і порівняння наповнювачів здійснюють шляхом аналізу експериментальних даних, отриманих при випробуванні з одним і тим же в'яжучим, але при різних заповнювачах. Щоб виключити зайві невідомі, нерідко порівняння здійснюють при однорідному в'яжучому, наприклад з одним і тим же фазовим ставленням (водоцементним, бітумомінеральним і т.д.). До застосування рекомендують ті наповнювачі, які забезпечують при прийнятих умовах кращі показники властивостей. З позицій загальної теорії такий метод оцінки якості наповнювачів потребує низки уточнень. По-перше, необхідно поліпшити заповнювач за допомогою різних можливих прийомів - фраціонірування, промивання, подрібнення, складання щільної суміші, распушки, просушування і т.п. Порівняння якості наповнювачів доцільно проводити в станах їх повної підготовленості і з урахуванням економічних витрат на підготовку. По-друге, необхідно оцінити якість підготовленого заповнювача за допомогою прийнятої в'яжучої речовини. З цією метою виготовляють два склади при довільних фазових співвідношеннях в'яжучого, але обов'язково з отриманням оптимальних структур.

Після їх випробування, властивостей (міцності та ін.) визначають показник ступеня n в рівнянні виду $y=a/x^n$. Ознакою більш високої якості заповнювача є знижена величина показника ступеня. По-третє, необхідно спробувати додатково активізувати прийнятий заповнювач і спонукати до зниження структурного показника ступеня n за допомогою добавок, прогріву і

т.п. По-четверте, доцільно спробувати збільшити вміст дрібної фракції в заповнювачі в міру збільшення фазового відношення в'яжучого. Цим заходом іноді досягається зниження показника ступеня *n* без додаткових засобів активації заповнювача, наприклад шляхом збільшення вмісту піску в щебені при збільшенні водоцементного відношення в цементному бетоні.

Методичні основи теорії полягають також в тому, що за допомогою методу проектування видається необмежена кількість оптимальних складів. Однак, на заключній стадії проектування з багатьох оптимальних вибирають тільки один, або кілька раціональних складів, які найбільш повно відповідають конкретним технологічним умовам, заданим показниками якості та економічної ефективності. Порівняння оптимальних складів між собою при виборі раціонального здійснюють за розрахунковими формулами і графіками-номограмами, що дозволяє без великих експериментальним досліджень порівнювати між собою основні характеристики при оптимальних структурах. У цьому порівнянні різних складів, які відповідають необхідним технічним вимогам, можна виходити з зміни щільності суміші, різних методів активації наповнювачів, різних способів технологічної обробки суміші і моноліту на окремих стадіях її виготовлення і т.д. При цьому не потрібно великих затрат часу на лабораторні досліди особливо, якщо були визначені допоміжні характеристики в'яжучої речовини при оптимальній його структурі, функціональні показники ступеня в рівняннях міцності, деформативності і ін. До виявлення раціональних оптимальних складів залучаються економічні розрахунки варіантів. При відпрацюванні нової технології важливо переконатися в повноті дослідження потенційних можливостей кожної операції. Останнє проявляється в швидкості протікання процесів структуроутворення. Практично ефективність впровадження удосконалень в технології контролюється за швидкістю, характером і розмірами зміни показників властивостей оптимальних структур, а при необхідності-також в'яжучої речовини, наповнювачів і суміші за допомогою стандартних і нестандартних методів. При порівняннях величини колишніх і нових показників при оптимальних структурах важливо

орієнтуватися на створення їх експериментальних значень. Загальна теорія виступає тут як методична основа для порівняльного вивчення ступеня оптимальності технологій, особливо поки не існує критеріїв оптимізації технології.

Таким чином, пошук нових шляхів вдосконалення технології спирається на закони оптимальних структур і їх якісні показники, так само як оптимальна структура завжди повністю залежить від технологічних параметрів.

У технології виробництва матеріалів можна виділити ряд типових операцій або технологічних переділів: підготовчі роботи; транспортування і зберігання (зазвичай в бункерах або силосах) підготовлення матеріалів; дозування; подача в змішувальний апарат; перемішування від дозованих матеріалів; транспортування отриманої суміші (маси) до місця її використання; застосування суміші (маси) в конструкціях, нових технологічних переділах і т. п. з наданням їй зв'язкового стану у вигляді матеріалу, здатного зберегти необхідну форму на наступних стадіях технології; обробка сформованих матеріалів шляхом впливу температурних, силових та інших факторів звільнення виробів або конструкцій від допоміжних форм і транспортування, коли потрібно, до місць зберігання або нової спеціальної обробки; складування виробів і конструкцій виготовлених з матеріалу; оцінка якості продукції на різних стадіях технології виготовлення суміші (маси); транспортування готової продукції до місць застосування її в будівництві.

До найбільш важливих в структуроутворенні відносяться: підготовчі операції, перемішування від дозованих матеріалів, ущільнення суміші (маси), обробка відформованих виробів.

Підготовчі операції супроводжують практично всі технологічні процеси. Основне завдання підготовчих операцій полягає в розкритті потенційних властивостей вихідних матеріалів, особливо наповнювачів і в'яжучої речовини. На стадії підготовчих операцій кожен матеріал-компонент суміші - виходить по можливості найбільший термодинамічний активний стан. Залежно від різновиду підготовлюваного матеріалу-операції носять різний характер: дроблення,

подрібнення, помел, або розпушки; фракціонування, просівання, промивка; зволоження і зневоднення; сушка і нагрівання, випалювання та охолодження; збагачення та фізико-хімічна обробка; надання однорідності (гомогенності) і ін.

Подрібнення-одна з найбільш поширених операцій. Зменшення розмірів частинок грубозернистих матеріалів (щебеню, гравію, руди, деревини та ін.) Може бути викликане необхідністю забезпечити певні відповідності між розмірами частинок матеріалу і конструктивних елементів виробів, полегшити технологічні операції на стадіях виготовлення суміші (маси), підвищити щільність і однорідність дробленого заповнювача, розділити грубозернистий матеріал на більш дрібні складові його фракції.

Дослідженнями встановлено, що забруднюючі домішки негативно впливають на якісні характеристики матеріалів. Вони знижують, як правило, їх міцність і однорідність, так як частинки заповнювача ізолюються від контакту і зчеплення з в'яжучою частиною. Здатність кристалічних новоутворень на наступних стадіях технологічного процесу утворювати міцний зросток з кристалами, складовими заповнювача (наприклад, гідратів новоутворень при твердінні цементного бетону), обумовлюється в основному чистої його поверхні. Застосування повністю очищених матеріалів дозволяє більш точно встановити технологічні параметри, полегшує вирішення завдання управління процесами спрямованого структуроутворення і отримання матеріалу із заданими властивостями, знижує кількість випадкових факторів до мінімуму, зменшуючи їх вплив на якість готової продукції.

У теоретичному плані операції, що виконуються на стадії підготовчих робіт, базуються на фізичних, механічних, хімічних, фізико-хімічних та інших закономірностях.

Основна увага приділяється забезпеченню необхідних розмірів і форми зерен і частинок, оптимального гранулометричного складу, мінімальної витрати енергії механічних машин для дроблення і подрібнення. При подрібненні дрібнозернистих і тонко дисперсних матеріалів (помелу мінерального порошку, домелу цементу та ін.) Мається на меті збільшення питомої поверхні, а отже

підвищення фізико-хімічної та хімічної активності часток. Зі зменшенням розмірів кожної частки при подрібненні поверхня її швидко збільшується, тоді як обсяг частинок при додаванні уламків залишається постійним. Швидко збільшується з подрібненням поверхня, що є в гетерогенних системах завжди поверхнею розділу з іншого фазою, яка володіє особливим запасом поверхневої енергії. Якщо віднести її до одиниці поверхні, то відповідна величина становить поверхневий натяг, тобто, утворює максимальну роботу, затрачену на утворення одиниці поверхні. Поверхневий натяг впливає на багато властивостей твердих і рідких тіл.

Відповідно до принципу Гіббса-Кюрі при підвищенні ступеня дисперсності речовини збільшується її розчинність, хімічна активність і ін.[90]. При механічному подрібненні розриваються окремі хімічні зв'язки з утворенням на поверхні вільних атомних груп і радикалів, з виникненням іонів з некомпенсованими зарядами. Утворені при подрібненні частки- уламки кристалічної решітки - є складними просторовими електричними системами, які взаємодіють із зовнішнім середовищем як складні електричні поля.

Виникнення свіжої поверхні, наприклад, при дробленні мінералів і гірських порід, зазвичай супроводжується появою електричних зарядів, знак і величина яких залежать від характеру речовини і розміру часток. Електричне поле виникає найбільш інтенсивно в перший момент дроблення, під впливом якої свіжо утворена поверхня має підвищену реакційну здатність.

Залежно від розташування по-різному заряджених атомів, іонів і молекул свіжо утвореними поверхню мінеральної частини заряджаються або позитивно, як, наприклад, у часток кальциту, доломіту і інших представників класу карбонатів, або переважно негативно, як, наприклад, у частинок кварцу, глинистих матеріалів та ін ., або ж поверхня частинок може виявитися нейтральною, як наприклад, у графіту, тальку і ін.[91].

Дроблення і тонке подрібнення нерідко призводять до часткового розриву хімічних зв'язків, оголення активних хімічних сполук, здатних до підвищеної активності при взаємодії з реагентами навколишнього середовища, наприклад в

процесі домола портландцементу в водному середовищі ,або у водному розчині поверхнево-активних речовин. Створюються сприятливі умови для протікання фізико-хімічних процесів на межі поділу фаз у вигляді змочування, адсорбції, розчинення і т.п.

Мензурку 250 см^3 наповнюють до рівня в 130 см^3 сухим піском і доливають до рівня в 200 см^3 3%-ним розчином їдкого натру. Після струшування пробу залишають на 24 години, а потім визначають кольори рідини над піском, порівнюючи їх з кольорами свіжоприготовленого еталона.

У сумнівних випадках випробувану пробу підігрівають 2-3 години на водяній бані.

Готування еталона: беруть 2%-ний розчин анина в 1%-ному розчині алкоголю в кількості 2,5 см^3 на 97,5 см^3 3 %-ного розчину їдкого натру. Суміш збовтують і залишають на 24 години. Якщо рідина над піском не темніше еталона, пісок вважається задовільним; при фарбуванні темніше еталона – червонувата, коричнева й більш темна, тоді якість піску – сумнівна. Вирішальним випробуванням є визначення міцності зразків цементно-піщаного розчину.(Рис.1).

Забруднення органічними речовинами визначають колориметричним способом; це випробування необхідно, але недостатньо для ствердження про придатність піску.

Цементний розчин нормальної консистенції для виготовлення трьох зразків-балочок готують так само, як і для визначення нормальної густоти розчину, тобто цементу 500 г і піску 1500 г. На кожен намічений термін випробування виготовляють три зразки. Для ущільнення розчину підготовлену форму з насадкою міцно закріплюють на стандартній лабораторній віброплощадці (рис.), що створює вертикальні коливання з амплітудою 0,35 мм і частотою 2800-3000 об./хв. Готовий розчин укладають у гнізда форми шаром приблизно 1 см і включають віброплощадку. Потім протягом 2 хв вібрації всі три гнізда форми рівномірно невеликими порціями заповнюють розчином. Після закінчення 3 хв від початку вібрації віброплощадку виключають і з неї знімають форму. Потім

ножем, змоченим водою, зрізують надлишок розчину, загладжують поверхню зразків урівень із краями форми і маркірують зразки.

Готові зразки у формах зберігають у ванні з гідравлічним затвором протягом (24 ± 2) год. Потім зразки обережно розформовують і укладають у горизонтальному положенні у ванну з водою, де зберігають їх до моменту випробування.

Після чого визначають межу міцності контрольних зразків та на піску забрудненому органічними речовинами за допомогою випробувальної машини МИИ-100 або гідравлічного пресу.

Операції з подрібнення вихідних матеріалів часто поєднують з поділом по крупності (класифікацією). Ступінь активності до процесів структуроутворення при виготовленні матеріалів зростає з підвищенням дисперсності частинок. Великі фракції також виконують відповідальні функції в формуванні структури і властивостей. Так, наприклад, щебінь і пісок не тільки майже повністю заповнюють обсяги виробу, а й сприймають значну частину внутрішньої напруги.

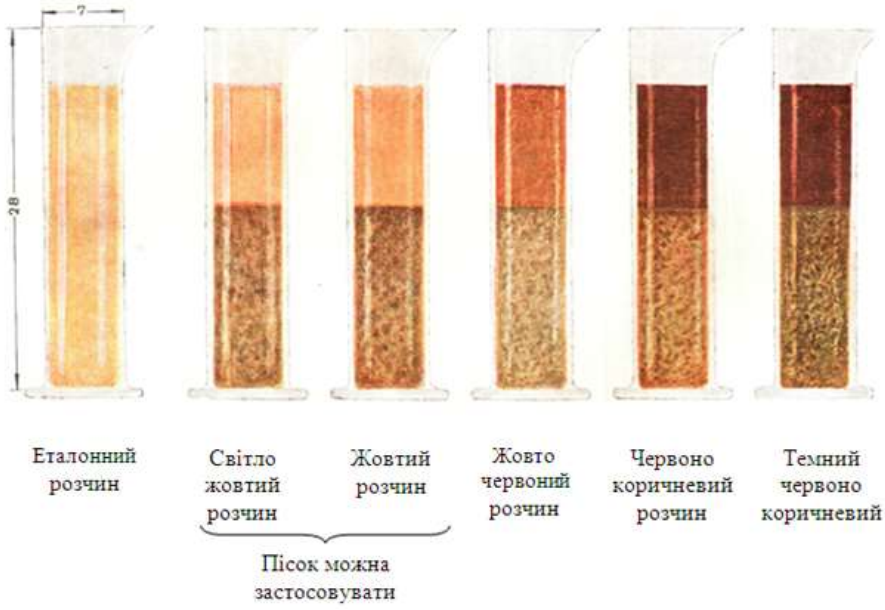


Рис.1.Випробування піску на наявність органічних включень обробкою їдким натром

Армуючи наповнювачі підвищують міцність виробу на розтягнення, або вигин зі збільшенням довжини волокон. Кількість одержуваних фракцій і межі розмірів частинок в них обумовлюються технологічними вимогами і проектним складом виробу. У порошкоподібних матеріалах фракціонування проводиться за допомогою різного роду сепарацій. Зазвичай великі частки направляються на повторний помел. Важливою характеристикою порошкоподібного матеріалу і, зокрема, показником оптимального гранулометричного складу є його щільність. В ступінь дисперсності порошкоподібного матеріалу вносяться певні обмеження, так як енергетичні потенціали поверхні після деяких переділів тонкого помелу настільки зростають, що відбувається мимовільне (спонтанне) агрегування частинок зі зменшенням питомої поверхні і збільшенням грудкуваті і неоднорідності вихідного продукту як активного компонента матеріалу. Крім того, якщо подрібнений матеріал є не тільки реакційно активним, але і складним за своїм хімічним складом, причому на подальших стадіях технології, наприклад перемішування з середовищем, утворює нові хімічні сполуки в одиницю часу, то подрібнення здійснюють з урахуванням певної оптимальної межі. Цю межу встановлюють за допомогою попередніх досліджень і з урахуванням передбачуваної технології та її основних параметрів.

У загальному випадку раціональний перерозподіл тонкості помелу встановлюють експериментальним шляхом. Він може бути значно підвищений при застосуванні додаткових речовин, здатних екранувати частки і тим самим запобігати агрегування, а також обмежується їх енергію активації.

Зі збільшенням дисперсності завжди зростає небезпека втрат активності порошкоподібного матеріалу в період тривалого зберігання в зв'язку з адсорбцією і хемосорбцією сторонніх речовин з навколишнього середовища.
Однією з важливих операцій підготовчого періоду в технології виробництва штучних будівельних матеріалів є промивка зернистих фракціонованих матеріалів-щебеню, дробленого гравію, піску - з метою звільнення їх від забруднюючих домішок (пилуватих, глинистих і т.п.).

Матеріал промивають чистою водою або з додаванням в неї деяких поверхнево-активних компонентів, що сприяють швидкому просихання промитих частинок за рахунок виборчої гідрофобізації їх поверхні і подальшого зісковзування з неї крапель води. Швидке висихання особливо необхідне в зимовий час, щоб запобігти змерзанню вологого заповнювача, і тоді застосування поверхнево-активних добавок особливо ефективно при зневодненні дрібних фракцій матеріалів. В процесі мокрого відділення механічних домішок від заповнювача дотримується певна послідовність операцій: зволоження, промивка, ополіскування і зневоднення. Мокра очистка нерідко поєднується з грохоченням або іншим способом фракціонування вихідного матеріалу, і тоді більш ефективним стає спосіб просівання і очищення у водному середовищі в порівнянні з мокрим грохоченням.

Крім механічного зневоднення промитого заповнювача, здійснюваного за допомогою віджиму, відстоювання, фільтрації, центрофугірування, застосуванням грохотів і гідрокласифікаторів, застосовують методи примусового висушування на заводах і кар'єрах із застосуванням різного роду джерел тепла - газу, інфрачервоного опромінення, електрострумів високої частоти, діелектричної сушки і т .п., а також за допомогою згаданих поверхнево-активних (гідрофобних) речовин, що вводяться з водою при промиванні. Крім мокрих використовують також сухі способи очищення із застосуванням плоских, вібраційних, або барабанного типу грохотів, пульсуючих обеспилювачив. Сухі способи дають матеріал практично сухий і тому не змерзається в зимовий час.

Дослідження показують, що структура контактного шару завжди однородніша і більш тонкодисперсна, ніж у цементного каменю і тим більше у заповнювача. При пропарюванні і автоклавній обробці можливо також новоутворення в зоні контакту гідросилікатів кальцію і магнію. При температурі понад 100^0С карбоалюминат кальцію розкладається на гідроалюмінат кальцію C_3AH_6 і вуглекислу сіль кальцію, що знижує мікротвердість цементного каменю в контактній зоні і міцність.

Велику роль в утворенні контактної зони грають процеси фізичної взаємодії заповнювачів з цементним каменем. Міцність адгезії цементного каменю з поверхнею вапняку у багато разів вище, ніж з кварцем, гранітом і іншими силікатними матеріалами і породами. Якщо в продуктах гідратації портландцемента, межуючих з поверхнею карбонатного заповнювача, виявляється підвищений вміст вуглекислого газуCO_2, то в поверхневих шарах карбонатних порід з'являється нова властивість - менша розчинність в соляній кислоті, оскільки виявляється велика кількість кремнезему, чим в звичайному об'ємі тієї ж породи.

Мікрокристалічні новоутворення гідрокарбоалюмінатів магнію і кальцію, зосереджені в контактній зоні, зростаються між собою і з поверхнею мікронаповнювачів і зернистих заповнювачів. В результаті виникають в цій зоні міцні мікрокристалічні новоутворення. Ці ж процеси протікають в порах і капілярах заповнювача, в які проникає вода, насичена продуктами гідролізу і гідралізації клінкерних мінералів. Контактна зона є шаром добре розкристалізованої маси, що карбонізує, поширюється від зерен заповнювачів до цементного каменю зі взаємним проростанням кристалічних новоутворень і взаємнозміцненням, зі зникненням межі розділу між ними.

Кількість і швидкість утворення гідрокарбоалюмінату кальцію підвищуються зі збільшенням тонкості подрібнення карбонатного заповнювача або наповнювача.

При взаємодії цементного тіста з кремнеземними заповнювачами піщаником, кварцем, туфом, трепелом та ін. В норамальних умовах тверднення в контактній зоні утворюються в основному гідросилікати кальцію, $CSH(B)$, CS_2H і гідрогранати. Взаємодія тверднучого цементного тіста з алюмосілікатними заповнювачами типу ортоклазів, альбитів і інших в контактній зоні з'являється підвищена кількість гідросилікатів різної міри основності, гідроалюмінати, гідрогранати з різним співвідношенням SiO_2,Fe_2O_3,H_2O.В умовах пропарювання і автоклавної обробки основність гідросилікатів кальцію знижується, а гідрогранати збагачуються кремнеземом і окислом заліза зі зміною

співвідношення фаз. Взаємодія цементного каменю з магнезійними силікатами наприклад, тальком, глауконітом та ін. в вяжучому прошарку з'являються головним чином гідросилікати різної міри основності, гідросилікати магнію, гідрогранати алюмоферритні і ферритні. При взаємодії цементного тіста с заповнювачами з магматичних порід - граніту, сієніту, діабазу, габбро, диорита, базальту - відбувається утворення в контактній зоні за нормальних умов тверднення гідросилікатів кальцію різної міри основності, гідроалюмінатів, гідрогранатів, гідросилікатів магнію, вапняково-лужних гідросилікатів. Пропарювання і автоклавна обробка роблять вплив на зміну деяких якісних і кількісних показників фазового складу контактної зони. На міцність зчеплення в цій зоні роблять певний вплив також структурно-текстурні особливості гірських порід використовуваних при виробництві заповнювачів. При взаємодії цементного тіста з шлаковим заповнювачем протікають реакції з виникненням нових хімічних сполук в контактній зоні.При контактуванні тверднучого цементного тіста з органічними заповнювачами - деревними, шерстю і т.п.- в контактній зоні і навіть внаслідок дифузії за її межами протікають реакції з екстрактними речовинами з утворенням нових з'єднань типу сахаратів кальцію, органічного заповнювача, а в контактній зоні з'являється плівка цементного порошку, що не схопився. Вже 0.25% цукру вистачає для повного не реагування портландцемента. З метою підвищити адгезію в систему вносять мінералізатори у вигляді хлористого кальцію, сірчанокислого глинозему або рідкого скла. Контактний шар, що виникає в результаті взаємодії тверднучого цементного тіста з поверхнею заповнювачів суміші, представлений склеювальною речовиною що забезпечує в тому або іншому ступені зчеплення заповнювача в загальний моноліт [93]. Подібно до інших склеювальних речовин його адгезійні властивості і здатність до створення моноліту залежать від фазового складу і структури цементного каменю, хіміко-мінералогічного складу, міри розведення склеювальної речовини рідким середовищем, велика частина якого нерідко залишається у вільному стані. Міцність зчеплення, як правило, зростає у міру збільшення в контактній зоні гідросилікатів кальцію типу *CSH (B)* з подальшим

переходом в стійкішу форму тоберморита типу $C_5S_6H_5$, ферритних і алюмоферритних гідрогранатів, гідросилікатів магнію. Зчеплення на межі контактуючих компонентів збільшується також з підвищенням міри дисперсності контактної зони, зростання кристалічних решіток цементного каменю і породоутворюючих мінералів. Теплова обробка в основному сприяє прискоренню винекнення і збільшенню кількості склеювальної речовини в контактній зоні, отриманню сприятливішого його фазового складу і спрямованого структуроутворення, підвищенню зчеплення цементного каменю із заповнювачем. При тепловій обробці особливо інтенсифікуються процеси гідратації і взаємодії в контактній зоні в початковий період. В той же час теплова обробка і підвищений тиск пари можуть призводити до деструктивних процесів за рахунок кристалізаційного тиску при перебудові кристалічної решітки новоутворень, появи паровлогістної фази і пор в контактній зоні, відмінності в коефіцієнтах термічного розширення заповнювачів і цементного каменю, їх структурних компонентів а також за рахунок усадки і набрякання. Виникає більше глибококристалічний каркас новоутворень з підвищеною дефектністю і щільнішими дифузійними гідратами облонками, з меншим міцним контактом зрощення великих кристалів. Відмічена найбільша концентрація новоутворень при оптимальному фазовому складі водоцементному відношенні вяжучої речовини. Окрім попередньої витримки в нормальних умовах перед тепловологістною або автоклавною обробкою значне підвищення адгезії може бути досягнуте за рахунок акустичної активації системи.Акустична активація змінює структуру і фазовий склад новоутворень контактної зони : збільшується щільність цементного каменю як склеювальної речовини, зростає зміст гідросилікатів кальцію типу *CSH(B)* і гідрогранатів.

Високу міру гідратації дає ультразвукова активація трьохкальцієвого алюмінату і особливо C_4AF з випаданням з розчинів кубічних і гексагональних (кристалічних) гідроалюмінатів кальцію (C_3AH_6) високої дисперсності, що підвищує стійкість кристалічної структури, щільність і міцність озвученого каменю.Ультрозвукова активізація цементного тіста сприяє гідратації

мінеральних часток цементу на максимальну глибину з періодичним руйнуванням гідратованого шару і зняттям оболонок новоутворень, оголенням нових поверхонь, а також сприяє прискоренню хімічних реакцій гідратації. Вона ефективніша для грубомолотих цементів.Окрім акустичної активації можливі гідроакустична, електрогідравлічна, магнітна, гідротермальна і інші різновиди обробки [94-95].Гідротермальна полягає в попередній витримці цементних суспензій до змішування із заповнювачем в пропарювальній камері при підвищеній температурі, рівень якої обумовлений різновидом вяжучої речовини. На ранній стадії тверднення бетонної і розчину суміші помітний позитивний вплив робить повторну вібрацію. Воно проявляється в наростанні міцності цементного каменю, підвищенні його адгезії із заповнювачем. Механізм позитивного впливу повторної вібрації ще не зовсім з'ясований, але вважають, що внаслідок чого через 1.5-2 г з моменту заповнення цементу водою відбувається механічне руйнування оболонок новоутворень і оголюються нові поверхні цементних зерен. Залучаються нові маси в процесі гідратації, збільшується кількість зв'язної води новоутвореннями, зміцнюється цементний камінь і адгезія по межах контакту його із заповнювачем. Повторна вібрація значною мірою знімає шкідливу дію усадкових явищ, що виникають внаслідок внутрішнього поглинання води зернами заповнювача, особливо в легких бетонах. Якщо на пластичній стадії дозування бетону такі усадкові явища не створюють безпосередньої загрози його якості, то у стадії структуризації і зміцнення бетону може з'явитися значна початкова напруга за рахунок усадочних явищ. Останні здатні негативно вплинути на структуру бетону і викликати явище мікротріщин в цій рихлій структурі, тому зняття цих дефектів в первинній структурі шляхом повторної вібрації завжди призводить до більшого або меншого підвищення міцності і поліпшення інших властивостей бетону залежно від інтенсивності і тривалості вібрації, мінералогічного складу цементу і інших чинників, що впливають на ефективність повторної вібрації. Оптимальним часом прикладення механічних дій є період закінчення формування структури цементного тіста, визначуваний по кривій наростання платичної міцності. На

процес структуроутворення в контактній зоні позитивний вплив робить електромагнітна обробка води.

У ділянці знижених температур (нижче 0° С) спостерігаються енергетичні і кінетичні відхилення в процесі тверднення цементного тіста. Сповільнюються, але не призупиняються процеси взаємодії клінкерних мінералів з водою навіть при досить низьких негативних температурах, що залежить від ряду причин, особливо від стадії гідратації цементу до заморожування, наприклад до - 10°С і нижче. Цьому сприяють екзотермічні реакції, що виникають при дифузійному проникненні вологи до свіжої поверхні часток цементу через гелієві прошарки, а також переохолоджений стан рідкої фази у присутності іонів-мінералізаторів, що сприяє закону зміщення рівноваги фаз. Кристалогідрати, що поступово утворюються в переохолодженій рідині, - эттрингит і тоберморит- є при знижених температурах стійкішими, ніж при нормальних температурах. Вони мають порівняно підвищену дисперсність, чим при звичайній гідратації, що позитивно відбивається на міцності цементного каменя. Замерзання перериває процеси гідратації цементу. Проте цемент сприяє відновленню і продовженню звичайних процесів гідратації. Активним способом зміцнення мікродисперсного матеріалу є введення додаткових речовин в неорганічні вяжучі матеріали, в зону контактування або в цементне тісто .Вони підвищують адгезію за рахунок акумуляції води, закупорки пор і тріщин, збільшення змочуваності і розчинності минерало- цементу, виникнення нових комплексних кристалічних утворень і тому подібне. Окрім поверхнево-активних речовин, що відзначаються вище, у багатьох випадках виявляються дуже корисними порошкоподібні добавки мікро-наповнювачі наприклад до портландцементу. У оптимальних кількостях, іноді до 15-30% і вище по масі цементу, можуть сприятливо відбиватися на щільності без значного зниження, а нерідко і з підвищенням міцності як за рахунок механічного заповнення мікропор, так і під впливом виникнення додаткової кількості нових комплексних цементуючих новоутворень, наприклад $3CaO \times Al_2O_3 \times 12H_2O$ *або* $3CaO \times Al_2O_3 \times MgCO_3 \times 12H_2O$ та ін. Мікронаповнювачі сприяють зменшенню деформацій усадки і набрякання, характерних при твердненні високодисперсної

клінкерної частини цементу, можуть підвищувати стійкість цементного каменю проти дії агресивних чинників, знижують витрату цементу і вартість бетону. При автоклавній обробці бетонних виробів велику користь по зміцненню приносять кремнеземні наповнювачі в цементі, сприяючі утворенню додаткової кількості гідросилікату типу *CSH (B)* і гідрограната.

Таким чином, різними прийомами можна регулювати структуру отримуваних на основі неорганічних вяжучих речовин, впливаючи на їх властивості у бажаних напрямах.

Метастабільні з'єднання цементу, що знаходяться в тонкодисперсному стані, створюють з водою або деякими сольовими розчинами пересичені системи, що завершується повільно або швидко протікають з утворенням термодинамічно стійких гідратів. Виникає нова складна дисперсна система, що складається з гідратних новоутворень різної дисперсності і фазових складів, концентрація яких в водно - лужному середовищі збільшується до граничного насичення.

Новоутворення взаємодіють між собою і продовжують реагувати з вихідними клінкерними матеріалами. Процеси гідролізу і гідратації клінкерних мінералів протікають по всій поверхні контакту їх з водою, але поширюються порівняно на незначну глибину, наприклад на 3-5мкм через 7-28 днів взаємодії, що в значній мірі залежить від температури і концентрації окису кальцію у водному середовищі системи. Внаслідок великої щільності і щодо малої реакційної здатності зерен цементного клінкеру їх гідратація починається з поверхні, повільно і більш-менш рівномірно поширюючись в глиб зерен. Кількість новоутворень виявляється як би пропорційним діючої поверхні цементних зерен.

Формування структури починається ще на стадії змішування підготовлених і віддозованих вихідних матеріалів. Безпосередньо і найбільш інтенсивно ці процеси протікають у в'яжучої частини. Відповідно до сучасних уявлень портландцемент при додаванні до нього води негайно адсорбує її та зерна його повністю або частково ізолюються водними прошарками. Портландцемент вступає з водою в хімічну взаємодію, тому *pH* цементного тіста з цього моменту

зростає з більшою швидкістю за рахунок розчинення гідрату окису кальцію, що виходить при гідролізі трьох кальцієвого силікату.

У наступний період швидкість зміни *pH* зменшується, а величина *pH* стабілізується до періоду схоплювання цементного тіста по Віку, а потім знижується до деякого сталого мінімуму в залежності від складу цементу, як би відповідаючи pH насиченого розчину гідрату окису кальцію, тобто до величини 12,5 при 25°С.

Інтенсивність гідролізу і гідратації цементу не залишається постійною, а змінюється під впливом швидкості інтегрального тепловиділення, теплоти змочування, адсорбції, кристалізації. Частина цементних зерен може залишитися непрогідратованою, причому вона завжди більше у цементу грубого помелу і зменшується при підвищенні дисперсності частинок цементу. Причиною неповної гідратації цементу є те, що на поверхні цементних часток буквально ж з перших хвилин взаємодії з водою утворюється шар з продуктів гідратації. У міру зростання його товщини він стає своєрідним екраном, що запобігає доступ води до прореагованої частини цементного зерна. Швидкість реакції сильно сповільнюється, і з плином часу реакції припиняються значно раніше, ніж реагує весь цемент з водою. Практично до 30% і вище може залишитися цементу в непрореагованрму стані, тобто як би в стані звичайного мікронаповнювача, що залежить від його первісної дисперсності, тривалості та умов твердніння.

Мінерали клінкеру ні з однаковою швидкістю взаємодіють з водою. Швидше за інших вступають у взаємодію з водою алюмінати кальцію, до головним представникам яких у портландцементах відносять трьохкальцієві алюмінати *(C_3A).*Утворюється чотирьохкальцієвий алюмінат складу C_4AH_{13}, потім шестиводний трьохкальцієвий алюмінат C_3AH_6 швидко знижують пластичні властивості цементного тіста і створюють в ньому пухку кристалізаційну структуру, не забезпечуючи, однак скільки-небудь значної міцності системи. Для уповільнення реакції C_3A з водою в портландцемент, як відомо, додається гіпс. У присутності його виділяється важкорозчинний гідросульфоалюмінат кальцію

типу еттрінгіта (кристалів видовжено- призматичної форми), кристалізуються з 30-32 молекулами води

(C_3ACsH_{30-32}), що запобігає появі вільного гідроалюмінату кальцію і передчасне загустіння цементного тіста або конгломератної сформованої суміші. У портландцементу міститься найбільша кількість трьохкальцієвого силікату *(C_3S).* При взаємодії його з водою виділяються важкорозчинний чотирьохводний двухкальцієвий силікат *(C_2SH_4)* і гідрат окису кальцію *(CH).* Вода розчиняє вільну гідроокис кальцію до насичення, внаслідок чого гальмується процес структуроутворення. При подальшій гідратації C_2S *і* C_3S утворюється суміш тоберморітових фаз кристалічного (голчастого) типу $C_5S_6H_5$; напівкристалічного (у вигляді фольги) типу *CSH (A)* при $C / S = 0.8$-1.5 і волокон типу *CSH (B)* при $C / S = 1.5$ і вище, а також у псевдоаморфних станах.Рис.2.

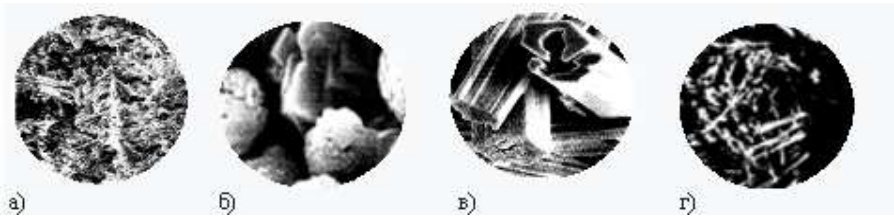


Рис.2.Структуроутворення суміші.

а).Кальцит і арагоніт б).Кальцит і ватеріт в). Еттрингіт г). Голчатий егтрингіт

Самим термодинамічно стійким станом тоберморіта є $C_5S_6H_5$, зустрічається у вигляді природного мінералу в гірських породах. При інших станах тоберморіт менш стійкий, знаходиться в метастабільних станах і здатний до подальшої модифікації і мікроструктуроутворенням і твердіє в цементному тісті і камені під впливом зміни зовнішніх умов, особливо температурних, і внутрішніх, наприклад змінної концентрації твердої фази у водному середовищі.

DOI 10.46299/ISG.2021.MONO.TECH.II-203-210

1.8 Організація та благоустрій дворового простору екоорієнтованих житлових комплексів

Сучасний екоорієнтований житловий комплекс – це природоорієнтований середовищний об'єкт з високою якістю житлового середовища, сформований із використанням засобів ефективної архітектурно-містобудівної організації його об'ємно-просторової структури і застосуванням інженерно-технічного оснащення та нових технологій (енергоефективність, автономність, природні джерела енергії тощо). Такі комплекси є найбільш затребуваними об'єктами в великих і найбільших містах у зв'язку з їх позитивними еколого-естетичними характеристиками. З метою створення екологічно-збалансованого і комфортного середовища вони включають в свою структуру озеленену територію та житлові будівлі з відповідною функціонально-екологічною диференціацією.

Сучасні екоорієнтовані житлові комплекси, як правило, включають в свою об'ємно-просторову структуру систему об'єктів різної поверховості (малоповерхові, середньої поверховості, висотні), які характеризують мале енергоспоживання і високі екологічні якості житлового середовища. В таких житлових комплексах в результаті взаємодії архітектури і ландшафтних компонентів з'являється можливість комплексної інтеграції озеленених просторів з архітектурними об'єктами. Огляд технологічних передумов появи нових прийомів розміщення зелених насаджень в структурі екоорієнтованих житлових комплексів показав ключове значення сучасних технологій, ландшафтостворюючої архітектури як системи озеленених просторів на поверхні заглибленої в грунт будівлі. Так найбільшого поширення в даний час отримали житлові комплекси з системою відкритих просторів. Вони можуть бути монофункціональними і поліфункціональними.

Монофункціональні житлові комплекси – це середовищні об'єкти з системою житлових будинків, об'єднаних єдиною об'ємно-просторовою композицією, тобто з переважно житловою частиною (співвідношення житлової та нежитлової функцій – 80:20).

Поліфункціональні житлові комплекси є середовищними об’єктами з системою будівель, що включають в свою структуру поряд з житловою додаткові функції – ділову, торгову, виставкову та інші (частини співвідношення житлової та нежитлової функцій – 40:60). (Рис. 1)

Специфіка формування екоорієнтованих житлових комплексів обумовлена цілим рядом факторів, що впливають. Їх розміщення в міському середовищі може бути досить різноманітним (в центрі міста, на територіях прикордонних з центром, на периферії). [96]

Залежно від розміщення планувальна структура та фізичні розміри екоорієнтованих житлових комплексів будуть відрізнятися. З урахуванням розміщення вони можуть диференціюватися на:

– невеликі житлові комплекси в центрі міста із загальною площею 600 м^2 і чисельністю населення 1000-1500 чол.;

– середні житлові комплекси на територіях, прикордонних з центром міста із загальною площею 1500 м^2 та чисельністю населення 1500-2000 чол.;

– великі житлові комплекси на периферійних територіях загальною площею 3000 м^2 і чисельністю населення понад 2000 чол.

В цілому, через гострий дефіцит землі висота екоорієнтованих житлових комплексів постійно збільшується і багато житлових комплексів не мають повноцінного відкритого внутрідворового простору. У зв’язку з цим вони максимально включають в свою структуру природні компоненти середовища (сади на дахах, проміжні рекреаційні поверхи, атріуми, зимові сади тощо).

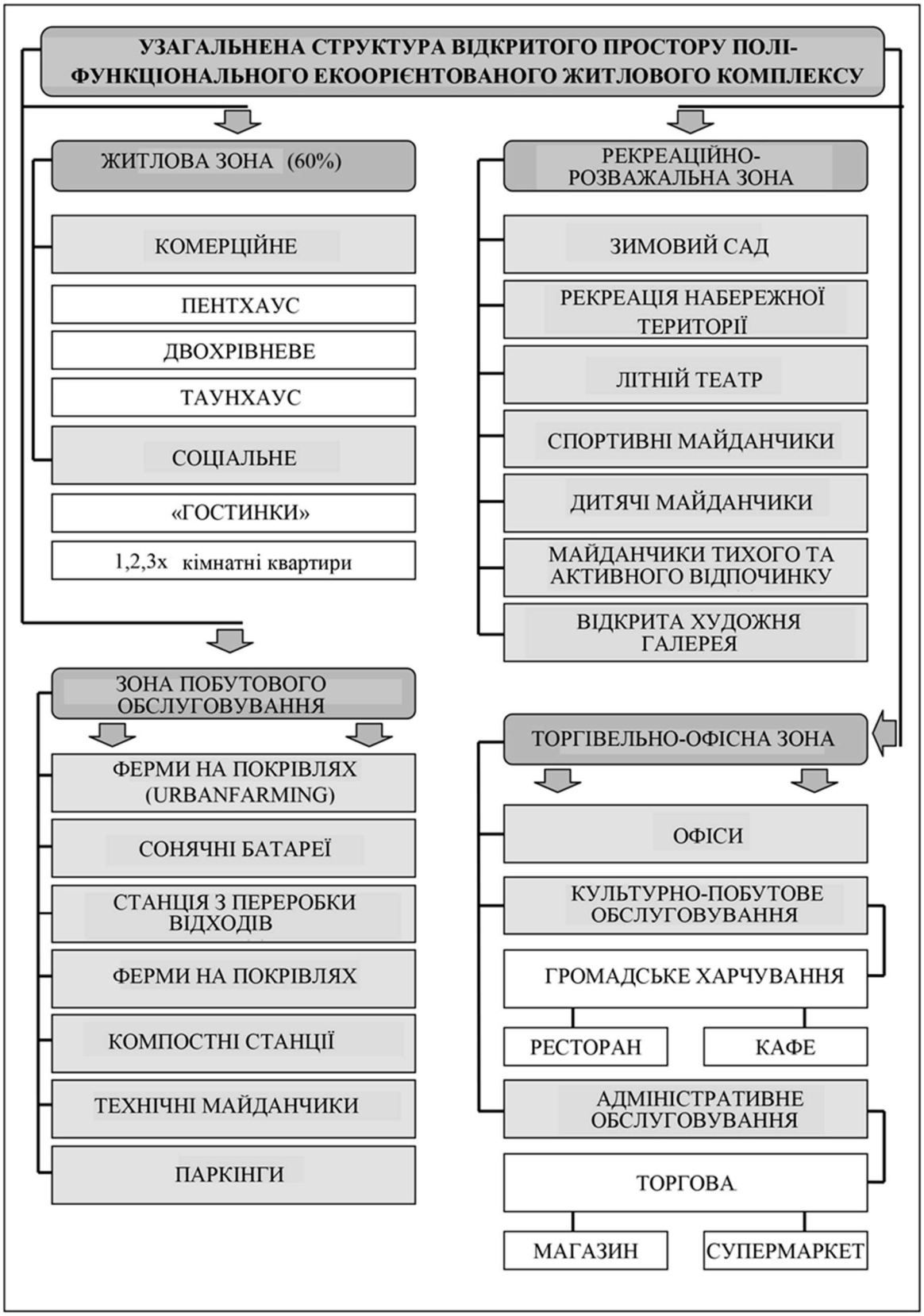


Рисунок 1. Узагальнена структура дворового простору поліфункціонального екоорієнтованого житлового комплексу

Важливою умовою формування сприятливого житлового середовища є близькість парків, лісопарків та орієнтація квартир екоорієнтованого житлового комплексу на них. [97] Поряд з цим для формування екстер'єрних просторів екоорієнтованих житлових комплексів пріоритетними є застосування енергозберігаючих прийомів організації простору, альтернативних джерел енергії, екологічно чистих природних будівельних матеріалів (суміші з землі і глини, дерево, камінь, пісок тощо), пошук нових підходів та технологій для створення комфортного мікроклімату середовища.

Так, для благоустрою, ефективної взаємодії житлового комплексу та навколишньої території, забезпечення їх функціональної та композиційної єдності необхідна організація екстер'єрного простору архітектурного об'єкта, як системи озеленених зон, поясів, коридорів, створених засобами ландшафтного та екодизайну (додатково на території та у об'ємній структурі будівель і споруд). [98]

У структурі екстер'єрного простору екоорієнтованих житлових комплексів доцільно виділення і розмежування засобами зелених насаджень наступних основних функціональних зон:

– вхідна зона, в якій зелені насадження забезпечують акцентування входів і масштабують простір;

– транзитна зона, в якій зелені насадження направляють рух і забезпечують захист середовища від негативного впливу факторів;

– рекреаційна зона, яка надає можливість короткочасної або довгострокової рекреації людей та забезпечує високі екологічні та візуальні естетичні характеристики середовища за допомогою використання зелених насаджень;

– зона паркування і зберігання автотранспорту, що передбачає використання зелених насаджень в якості елементів, що структурують і екранують простір.

Також в структурі територій екоорієнтованих житлових комплексів необхідно формування озелененого буферного простору, здатного функціо-

нально інтегрувати зелені насадження з архітектурними об’єктами, МАФ.

З метою реалізації природно-екологічного підходу такий озеленений буферний простір слід формувати із включенням додаткової зони «зеленого острова», ядра з екологічною функцією. Це повинна бути територія, захищена від функціональних навантажень, в якій створені найбільш сприятливі умови для проведення дозвілля (з активним використанням засобів ландшафтного дизайну). (Рис. 2) Рекомендований розмір такої зони становить для багатоярусних масивів 0,1–1 га, для екстенсивно-озеленених покрівель – 0,01–0,1 га (в залежності від загальної площі поверхонь). [99]

Слід зазначити, що розміщення зелених насаджень з метою структурної перебудови вже зведених житлових комплексів або організації територій нових житлових об’єктів передбачає виконання наступних функцій:

– формування цілісної інфраструктури з включенням елементів та об’єктів благоустрою (рослинність, геопластика, водні пристрої, МАФ);

– створення різноманітних, функціонально насичених екологічних зон з унікальним ландшафтним комплексом, що дозволяють найбільш повно виявити різноманітність і природні особливості середовища;

– контроль і зниження негативного впливу оточуючих екологічно несприятливих об’єктів;

– урахування фактору сезонності при організації та благоустрії території житлового комплексу;

– моделювання і просторовий розвиток функціональних зон з рекреаційною функцією з урахуванням природно-кліматичних факторів.

Так, усі проєктні рішення в області підвищення екологічних характеристик житлового середовища повинні бути спрямовані на зниження шкідливого впливу міського простору. При цьому застосування різноманітних ландшафтних компонентів або екотехнологій може носити локальний характер, наприклад, на фасаді будівлі, екрануючи внутрішній дворовий простір житлової групи від шуму і пилу. Поверхні стін житлового комплексу так само можуть служити для забезпечення додаткової інсоляції і освітлення

Рисунок 2. Структурні елементи дворового простору моно- та полі-функціонального екоорієнтованого житлового комплексу

території відбитим світлом і збільшення повітрообміну у дворових просторах. При системному використанні вертикального і дахового озеленення, світловідбивних або поглинаючих матеріалів можна досягти загального зниження температури приповерхневого шару міської території.

Виходячи з комплексних завдань, слід виділити прийоми, що сприяють екоорієнтації житлових комплексів та спрямовані на багаторазову екокомпенсацію прилеглих до них територій:

– озеленення прилеглої до будівлі території, буферне озеленення;

– заглиблення елементів будівель і споруд в грунт, організація підземних паркінгів;

– створення та озеленення підпірних стінок, штучних форм рельєфу, амфітеатрів та ярусів;

– застосування модульного озеленення для розмежування різноманітних функціональних зон на території;

– створення проміжних рекреаційних озеленних просторів;

– активне озелення місць паркування та споруд для зберігання автотранспорту;

– вертикальне озеленення поверхонь будівель і споруд, МАФ;

– застосування контейнерних посадок в поєднанні з геометрією малюнка декору горизонтальної або вертикальної поверхні (стіни, покриття тощо);

– акцентування простору за допомогою озеленення об’єкта, екопокриття;

– поєднання лінійних і об’ємних форм рослинності, створення скульптурних груп рослинності.

У завершенні проведеного дослідження можна зробити висновок, що сучасні екоорієнтовані житлові комплекси є:

– необхідними об’єктами для посилення позитивних, в тому числі екологічних характеристик міського середовища;

– елементами екосистеми міста, що забезпечують екологічну стійкість середовища;

– об’єктами естетизації міського середовища для втілення сучасних естетичних і духовних ідеалів міста;

– об’єктами, в яких відбувається динамічний процес постійного оновлення та розширення наявних функцій;

– об’єктами технології, при формуванні яких реалізуються новітні досягнення науки і техніки;

– містобудівними об’єктами, стимулюючими нові підходи до реструктуризації міського середовища.

Таким чином, екоорієнтовані житлові комплекси з певним функціональним та предметно-просторовим наповненням і різноманітними прийомами архітектурно-планувальної організації, багато в чому визначають умови комфортності міського середовища, його образно-художні якості. Вони мають достатньо великий вплив на формування естетичних характеристик району та міста в цілому, часом визначають особливості його реструктуризації. Все це характеризує необхідність здійснення інтегрованого формування екоорієнтованих житлових комплексів з системою відкритих просторів, сформованих завдяки синтезу архітектурно-містобудівного та екодизайнерского підходів для вдосконалення середовища життєдіяльності людини.

SECTION 2. CHEMICAL TECHNOLOGY

DOI 10.46299/ISG.2021.MONO.TECH.II-211-217

2.1 Peculiarities of the flysch formation of the Ukrainian Carpathians and their influence on the formation of fresh waters of the basin

The Cretaceous-Paleogene Carpathian flysch (flysch formation) is a polyfacial formation, both in sections and in areas (Hurzhyi D.V. (1981); Afanasieva I. M. (1979)). The main differences between its constituent parts are the rock types, their rhythmicity, coloring, calcareous, siliceous, mica, organic matter enrichment, siderite, textural features, presence of fossil organisms, marker horizons, etc. (Fig. 1).

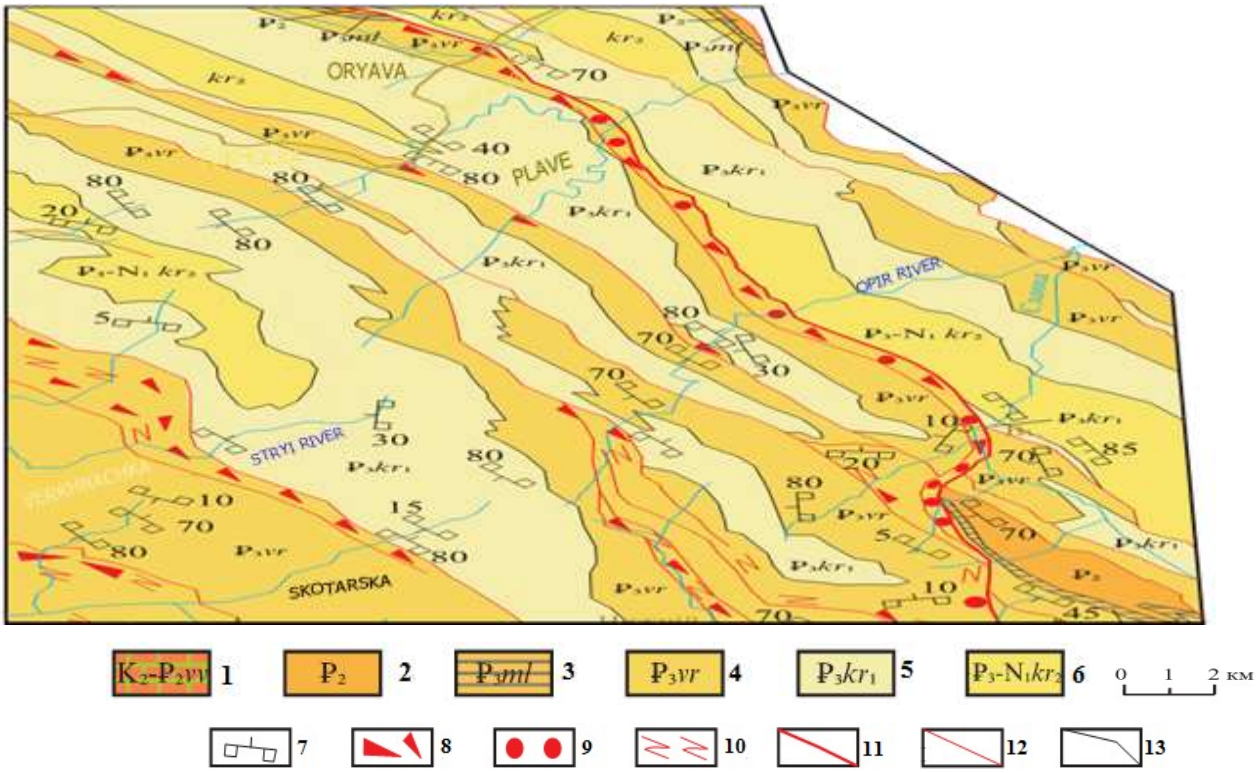


Fig. 1. Fragment of the geological map of the Stryi River basin (compiled from (Lozyniak P. Yu., Petrashkevych M. I. (2007)))

1 - upper cretaceous-eocene variegated marl of the Hungarian type; 2 - eocene flysch; 3 - menilite light; 4 - verek (transitional) light; 5 - lower precocene subformation (toustorhythmic sandy flush) 6 - middle precocene subformation (middle-rhythmic gray flysh) 7 - elements of bedding of rocks (rectangles show the lower surface of layers) 8 - tectonic breccias, melange of fragile type 9 - tectonic melange of plastic type; 10 - zones of intensive shallow folding; 11 - major faults, cover boundaries; 12 - secondary faults; 13 - geological boundaries of straton.

In the territory of the Stryi River basin, the cretaceous deposits of the flysch formation are established within the Skyba and Boryslav-Pokuttya nappes, while not found in the outcrops within the Krosno cover.

Lower cretaceous sediments are found locally, represented by the Spas, Holovanivsk, and Ilemkivsk formations of the upper barrem –low albumin, in outcrops both in the Stryi River basin and in adjacent territories in the vicinity of Sambir, and are exposed in wells Luhy-1 and Shevchenkovo-1. The Spas horizon (K1sp) flysch sediments are represented by black siliceous mudstones interbedded with dark gray siliceous siltstones and thinly laminated sandstones. Often there are layers of flints in the section. Stratigraphically, above and according to the Spas strata, there are deposits of the Holovanivsk formation (K1hl) cryptocrystalline limestones with thin interlayers of variegated rocks. In the northeastern direction, they gradually increase the content of variegated clay rocks (M.P. Gabinet, J.A. Kulchytskyi, O.I. Matkovskyi et al (1976)); (1977)).

The upper cretaceous deposits are spread within the Skyba and Boryslav-Pokuttya nappes and are represented by the Stryi formation (Santon Dunaya) of gray and greenish-gray flysch in which three subformations are distinguished: lower Stryi (K2sr1), middle Stryi (K2sr2) and upper Stryi (K2-P1sr3). The lower and upper sub formations of the Stryi horizon are composed mainly of gray limestone fine- and medium-rhythmic flysch with almost equal contents of silt-sand and clay components or with the dominance of clay components. The marl and limestone layers (slightly more abundant in the lower one) are present in these subformations. The middle Stryi subformation is characterized by a sharp predominance of sandstones or coarse-rhythmic flysch.

The paleogene flysch is represented by paleocene, eocene, and oligocene sediments. The upper paleocene sediments are represented by the Yamnensk formation (P1jm), composed of massive and tovstosharuvatymi sandstones, the thickness of which varies from a few meters to 200-250 m. At the base of the Yamnensk horizon lies the Yaremche horizon, a thin green or variegated no limestone flysch, not more than 90 m thick. The lower ocene fine- to medium-rhythmic clayey siliceous flysh of

the Manyava horizon (P1mn) overlaps the Yamnensk sediments and is represented by the paleogene, eocene and oligocene sediments. The upper paleocene sediments are represented by the Yamnesk formation (P1jm) composed of massive and toasty sandstones whose thickness varies from a few meters to 200-250 m. At the base of the Yamnensk horizon lies the Yaremche horizon, a thin green or of variegated not limestone flysch, not more than 90 m thick. The lower ocene fine- to medium-rhythmic clayey siliceous flysh of the Manyava horizon (P1mn) overlaps the Yamnensk horizon. In the Beregovo Skyba, where the Yamnensk sandstones liquefy, the same-type Yaremche and Maniava sediments merge into an undivided uppper paleocene-lower eocene (P2) strata.

The Middle Eocene is represented by the sediments of the Vyhoda horizon (P2vp), which is usually composed of massive varied-grained sandstones. The upper eocene is represented by green mudstones and thin-rhythmic flysch of the Bystrytsya horizon(P2bt). In the northwestern part of the Stryi River basin, south of Boryslav, the Vyhoda sandstones are flushed and the entire Eocene is represented by an almost inseparable sequence of medium- and fine-rhythmic flysch, whereas in the south of the basin, in the Rozhanka River valley, not only the Vyhoda and Bystrytsya deposits are flyshed, but also the Yamnensk sandstones, which are distinguished by an inseparable complex of paleocene-eocene. Here, the same stratigraphic units are distinguished in the upper paleocene-eocene section as in the Skyba nappe within the Turka subpopulation of the Krosno nappe: the Yamnensk, Manyava, Vyhoda, and Bystrytsya horizons. However, the deposits of these stratigraphic units are characterized by an increase in the creaminess of rocks and thickness of sandstones, primarily for the Manyava and Bystrytsya horizons (M.P. Gabinet, J.A. Kulchytskyi, O.I. Matkovskyi et al (1976)); (1977)).

The oligocene in the Stryi River basin is represented by the menilite horizon (P3ml), which includes the following sublocations: lower P3ml1, middle (Lopyanka horizon P3lp), and upper P3ml3, as well as the Krosno horizon (P3kr), which is composed of three subhorizons: lower P3kr1, middle P3kr2, and upper P3kr3. The lower menilitic subhorizon stack is characterized by the presence of a subflint sequence

of variable thickness (from 1.5 to 60 m) at the base of the section. It is formed by alternating black, dark gray and brown, often very calcareous mudstones, siltstones, sandstones, and marls. Above it lies the main marker horizon, the lower precambrian, by which the boundary between the eocene and oligocene is conventionally drawn. The horizon is composed of black and brown cherts, siliceous mudstones, siltstones, sandstones, limestones, and marls, with tuff lenses in places. Above this horizon, the lower menilite horizon is composed mainly of fine-rhythmic flysch of the menilite facies, which gradually transitions to coarse-rhythmic interbedding (M.P. Gabinet, J.A. Kulchytskyi, O.I. Matkovskyi et al (1976)); (1977); Gabinet M.P. (1985)).

In the basement of the middle menilite sublayer (Lopyanka horizon), a horizon of striped limestones 0.25 to 4.0 m thick is located. It is composed of irregular alternation of gray and dark gray limestone argillites, siltstones and sandstones with separate layers of marls and siderites. The middle and upper subformations of the menilite world are separated by the upper siliceous horizon.

In the upper cretaceous section, black and dark gray stratified argillites are the most important, while the amount of sandstones and siltstones decreases upwards in the section.

The Krosno horizon makes up the upper part of the oligocene section in the Krosno nappe. The lower Krosno sub horizon is characterized by a coarse-rhythmic sandy fleece, the middle Krosno subhorizon by a moderately rhythmic uniform fleece, whereas the upper Krosno subhorizon is characterized by a fine-rhythmic clayey sequence.

In the Boryslav-Pokuttya nappe, pni-ligocene - early miocene dark gray mudstones with interlayers of the Polyanytsya horizon sandstones (P3-N1pl) lie on cretaceous and paleogene sediments with erosion. They are often based on conglomerates with pebbles and blocks of flysch rocks (M.P. Gabinet, J.A. Kulchytskyi, O.I. Matkovskyi et al (1976)); (1977)).

The Precarpathian troughs in the Stryi River basin are filled with neogene deposits of the molassic formation, which overlie the flysch formation in the Boryslav-Pokuttya and Sambir nappes. In the section of the molassic formation, the Vorotyshche

(upper eger-Karpaty) - N1vr, Stebnytsky - N1sb and Balychi - N1bc (otnang-Karpaty) horizons are distinguished. The Vorotyshche horizon is subdivided into three subformations: lower Vorotyshche (N1vr1), composed of gray clays with rare interlayers of sandstones, lenses of exotic conglomerates, layers and lenses of salts; middle Vorotyshche (Zahirya horizon) - N1vr2, which has an unstructured along the strike and is composed of sandy-clay deposits with lenses and packs of gravelites and conglomerates; the upper vortex (N1vr3), which is represented by a sequence of salt breccias and clays containing beds and lenses of rock and potassium salts with siltstones and sandstones.

The Stebnyky horizon (N1st) is composed of red and pink limestone clays and mudstones with interlayers of weakly cemented variagated multigrained sandstones, which transition into gravelites and microconglomerates with pebbles of exotic and flysch rocks. There are also dacite tuff checks in the world section. Lithologically similar to Stebnyky, the Balychi horizon(N1bc) has layers and bundles of weakly cemented fine-grained sandstones among the greenish-gray limestone clays. The section of the horizon is often enriched in coarse silty material of gravels and conglomerates with fluvial pebbles and jurassic limestones (M.P. Gabinet, J.A. Kulchytskyi, O.I. Matkovskyi et al (1976)); (1977)).

The quaternary deposits in the Stryi River basin are represented by several genetic types of sections: eluvial, aeolian, dealluvial, colluvial, proluvial, alluvial, often combined and different within the development areas of the flysch and molasse formation (Zamorii P. K. (1961)).

Thus, the eluvial quaternary deposits within the flysch formation are mainly represented by thin interlayers of zwitrilinear sandstone, crushed rock, and sandy gravel mixed with sand and loam. The thickness of eluvial deposits proper, developing on flysch rocks rarely exceeds 1.0 m. At the same time, eluvial deposits on saline molasse are represented by the so-called gypsum-clay cap - unstructured plastered clays, sandstone fragments and relics of other rocks, which are a kind of insoluble residue. Above the potassium deposits at the explored Hirne potassium salt deposit, the

thickness of the "cap" reaches 65-75 m. The gypsum-clay "cap" plays an important protective function for the penetration of fresh water into the saline deposits.

Aeolian deposits of loess-like loams are typical for watershed areas within the Precarpathian trough. The loess-like loams are light yellow, piled, macroporous, often carbonate with shrinkage of various shapes, 1-5 cm in size. In the middle part of the section, a horizon of dense sandy loams and loams of heterogeneous color, with a jasic-lens-like structure stands out.

Deluvial quaternary sediments are distributed mainly on the mountain slopes and are represented by sandy loams up to 5 m thick. Deluvial deposits, unlike eluvial ones, have no signs of direct connection with bedrock. According to the mechanical composition, clay and loam varieties with an admixture of rubble debris prevail among dealluvial sediments.

Colluvial quaternary deposits are represented by scree and rockfall formations of clumps, rubble, crushed stone, sand, and loam at the foot of steep slopes as a result of rolling and sliding down the slope (Zamorii P. K. (1961)).

Proluvial quaternary deposits are represented by debris-flow removal cones and other formations of temporary streams. The dimensions of the removal cones are insignificant (from 3x5 m to 15x20 m, rarely 50x100 m).

Extremely important from hydrogeological positions are alluvial quaternary deposits composed of boulders, pebbles, gravel and sand, which in the basin of the Stryi River are localized within the floodplain and floodplain terraces.

In conditions of natural cycle water evaporates from the surface of water areas and land, in the form of atmospheric precipitation, interacting with air, soils, rocks, biota, products of anthropogenic human activity, enters into chemical reactions, dissolves and leaches most components - from gases to minerals actively changing its original chemical composition.

Analysis of the regularities of formation of the chemical composition of natural waters shows that one of the most important factors in this process is the climate of the catchment area of the Stryi river. Stryi, namely the amount and chemical composition of atmospheric precipitation. These parameters directly depend on the vertical climatic

zoning of the Carpathian mountains, clearly correlated with the geomorphological parameters: from low to high elevations of the relief there is a natural decrease in temperature parameters and atmospheric pressure, increasing the amount of atmospheric precipitation. Average long-term values of precipitation clearly change in accordance with the geomorphological vertical zoning of the territory with gradients of changes in annual precipitation amounts with height, 80-90 mm for each 100 m of absolute altitude - from 650 mm at the mouth (239 m), 684 mm in . Stryi (296 m), 844 mm in Turka (557 m), 957 mm in Slavske (600 m) to more than 1200 mm in the mountainous part, at altitudes above 1000 m.

Therefore, taking into account the above, the main factors of formation of the chemical composition of natural waters are climatic conditions, amount and hydrochemical features of atmospheric precipitation. Due to infiltration of precipitation, presence of water-soluble minerals in soils and water-bearing sediments, interaction of oil and water phases within oil-producing areas the equilibrium chemical composition of natural waters is formed.

Conclusions

The geographical location of the Stryi river basin determines the peculiarities of landscapes, soil cover, flora and fauna of the territory. Tectonic position and features of the geological structure are determinative in the formation of geomorphological, orohydrographic, hydrological, geoecological and geochemical conditions, as well as natural-resource and economic potential of the territory. Economic use of resources of the territory leads to the anthropogenic transformation of the Stryi River basin, determines the main features of the processes of technogenesis and their impact on natural waters.

DOI 10.46299/ISG.2021.MONO.TECH.II-218-226

2.2 Filling by micro-disperced inorganic mineral components as a way to obtain a thermo-hardening & thermo- plasticize epoxy-composites

Abstract. The article summarizes the results of experiments on hardening a standard bisphenol epoxy-amine polymer. The existence of inorganic microfillers, which impart hardening properties to the epoxy, especially after destructive critical (250 – 300 °C) temperatures, is shown. These include inorganic binders (gypsum and cement), carbides and nitrides (SiC, TiN), metal microparticles (Fe).

The ability of the epoxy polymers filled with them to harden or plasticize under the action of critical destructive temperatures, is proposed to be called "thermal hardening" and "thermal plasticization" of epoxy-composites. The work gives examples of these effects on specific compositions with 50 wt% fillers. The creation of these filled compositions makes it possible to expand the temperature range of the practical application of epoxy polymers - in areas with high requirements for the thermal stability of materials.

Keywords: epoxypolymer, strength at compression, abrasion, modulus, microhardness, "thermal hardening", "thermal plasticization", micro-fillers.

Introduction

A. Epoxy – common information. Epoxy resin - is an epoxy-terminated oligomer typically cured with amines and anhydrides. Its invention in 1896 – 1906 by the Russian chemists Dianin and Prilezhaev [112] gave rise to the use of epoxy polymers. Of the dozens of types of such resins, the most widely used resin is called ED-20 in the USSR and then in the East Europe, and has different trademarks in the world (Epoxy520, DER33, Raseen, Eposir7120). Popularity of epoxides is due to its ability to transform into a strong durable plastic in any (even poorly adapted - road, home, camping) conditions. Moreover, from the use of the most affordable fillers (sand, clay, stone chips, shavings, microspheres, grains etc.), it often only strengthens. Its distribution is restrained by the specificity of use (skills of mixing with a hardener are needed), the toxicity of hardeners (the liquid resin itself is also considered

unhelpful), the need for complete drying and degreasing of the glued surfaces, and other inconvenient requirements.

B. Filled epoxydes. In the technology of polymers, it is possible to increase the physical and mechanical properties or durability of composites by *simple* filling. However, most often, the behavior of such filled composites copies the behavior of the initial polymer matrix, especially after severe heat treatment (destructive for this polymer matrix). Sometimes, we can reach a new properties through an optimization of fillers. Filling can produces effective thermo-durable epoxy composites (EC).

Theory of the physical chemistry of filled thermo-reactive polymers is well interpreted by the well-known generalizing theory of Soviet chemist Lipatov [113], which has not lost its significance now. As you know, modern concepts of the structure of filled polymers provide for the existence of compacted boundary layers at the surface of the filler particles, plus a loosened (weakening) layer tens of microns thick [113-115]. The ability of the filler to reinforce is also associated with the formation of chains, frameworks, aggregates, and other own filler structures. In works of Starokadomsky, this model were expanded in polyepoxides [125] and polyacrylates [126]. The experimental hypotheses for reinforcing and thermo-reinforcing of epoxy-composites by filling, were proposed in different works [112].

The working temperature range of pure and filled epoxy-polymer is limited by 200-250 °C. This is due to relaxation and destruction processes at these temperatures. Their study in recent years has allowed [115] to classify them into 5 types.

Table 2.

(from [115]). Characteristics of relaxation processes (γ..δ) in an epoxy polymer.

T, ºC (at ν=1 Hz)	$E_{activation}$, kJ/mol	Kinetic unit
Minus 165 +-15	10 … 20	Side groups –CH_2, -OH, etc.
Minus 90 +-40	30…120	Fragments of basic chain
105 +-30	70…140	Linear segment or pulsed stitched micro-volume
250 +-100	80…100	Decay of physical nodes (clusters, etc.)
390 +-40	144… 175	disintegration of chemical bonds C-C, C-O, etc.

Table 2 shows that there are low-temperature transitions (which we will not touch upon) and high-temperature ones. There are no transitions in the range of practically applicable temperatures of 0 – 65 °C. The first of the high-temperature relaxation transitions is observed during soft heating of epoxy-polymer (EP), which is widely used to complete post-processes and impart final properties to EP. These transitions have a relatively noticeable activation energy, and are responsible for the optimization of the structure at the supramolecular level. The optimizing and enhancing effect of these transitions is well known in the practice of using EP, which is why mild heat treatment has become a component of most technologies for producing cold curing epoxy materials [115].

Up to 150 ° C, the temperature has little effect on the EP-relaxation (although visually the materials turn yellow), and then the first signs of decomposition appear. Responsibility for them, in particular, is borne by λ-relaxation - or the decay of physical units. In epoxides, such are clusters, domains, spherulites, and a number of other pseudocrystalline formations. Resistance to these processes can already be considered an important property of an epoxy composite. However, with an increase in temperature, all epoxy composites undergo λ-relaxation, and in parallel, already from 250 °C, signs of chemical destruction are clearly visible.

Table 1 indicates that it starts only from 350 °C, but in fact, the disintegration of chemical bonds becomes clearly visible already 100 °C earlier. Depending on the type of EP, in the range of 300-350 °C, carbonization of a part of the polymer occurs, i.e. complete disintegration of chemical bonds with “tarring” (koxation according Mostovoy [116-117]) of the composite. The fillers, however, can greatly inhibit the degradation process. Not the least role in this is obviously played by the heat capacity of the filler, the compaction of the polymer at its surface, and, in general, a decrease in the percentage of the burned-out polymer phase with its replacement with a non-combustible one.

Note that Gorshunov [115] made one of the best literary reviews of this topic. He admitted that the literature on thermal relaxation of polyepoxides, especially those filled with their composites, has not been identified or even absent. That is, 10 years

ago the issue was not worked out at all - and there is too little evidence that the situation has changed dramatically. Since then, we have not found information about any epoxy composites that harden after exposure to destructive temperatures of 200-300 ° C.

Of the thermal effects on the hardening of epoxy composites, only thermal relaxation methods of soft treatment at 50-120 ° C have been well studied and are widely used (which we will also touch upon in this work for comparison). However, thermosetting plastics are valuable because (unlike thermoplastics such as PE and PP) they do not melt/soften at 120-150 °C, and can partially replace stone and metal products.

Formulation of the problem.

Is it possible, by simple filling with affordable and cheap binders, to change the epoxy resin - to the level of a thermo-fire-resistant composite? A number of our [118-130] and other works (Danchenko,..[131-132], Buketov&Yakushchenko [133], Nizin,..[134], Gnibeda& Mikhalchuk [135]; Li,..[136]; Oguz&Erklig [137], Prabhudass& Palanikumar [138]) confirm this. But as regards the possibility of maintaining high (or simply sufficient) strength and durability after hard heating, there is much less work [118-119, 126, 130]. This is especially true for the basic indicators of strength (in compression, bending, abrasion, impact, etc.) and resistance (to oxidants, organosilvents, acids).

Note that this effect was first discovered in 2017 on epoxy composites with micronuclear iron (Starokadomsky [119]). In 2017, Starokadomsky first published a work with a cursory description of a new interesting effect - hardening of an epoxy composite with micro-iron [119] after destructive heating of the composite. This effect looked strange and even artifact, but later it was observed on epoxy composites with silicates [118], gypsum [118, 124] and carbide [126, 130] fillers. Thus, we are talking about a phenomenon that allows the creation on the basis of conventional (non-heat-resistant) polymer components of epoxy composites with high durability (and even hardening & strengthening) of their characteristics in the "hot" range of 250 – 350 °C, which is uncharacteristic for plastics (even standard epoxy plastic).

Examples of the effects of thermo-hardening and thermo-plasticization.

This work shows an examples where the filling is capable of thermo-reinforcing a composite - in comparison with unfilled polymer and (sometimes) with a not-heated composite. These effects have not been covered in the literature, and I suggest to call them “thermo-strengthening” and “thermo-plasticization” (when warming up improves flexibility / plasticity). The difference from the well-known effects of polymers thermally reinforcing is discussed temperature. So, it is well-known that polyepoxides are strengthened by heating at 50-120 °C, but they can work no higher than 150 – 200 °C (when the final destruction begins). In our case, after such a "deadly" warming up for polyepoxides as 240 – 270 °C, these composites only improve the physical properties, or reduce them very insignificantly (by 5 – 15%, but not in 1.5 – 2 times as it happens with unfilled epoxy-polymer).

Figure 1 shows examples of thermal strengthening for a number of composite systems. **All the microfilled** composites taken after 250 °C gave a higher than H-polymer index, while without such heating only a composite with SiC was such. Note - that the studied by us other **nano-fillers** [121,125,127-129] and a number of micro-fillers (basalt fiber [120], magnetite [121], cellulose [123] etc.) **do not give such** effects, losing strength as shown in the example of polyepoxide with 0.01 wt% graphene oxide (sample GrOx, Fig.1).

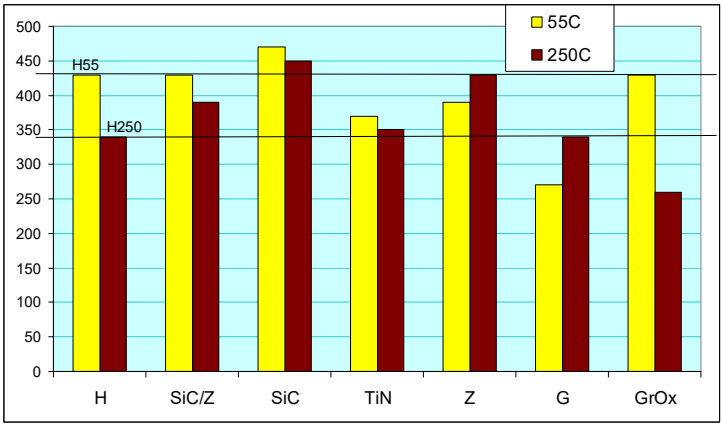


Figure 1. Compression load (kgf) for composites without filling (H) and with 50 wt% SiC and cement 1:1 (SiCZ), SiC, TiN, cement M400 (Z), gypsum G5 (G) and from 0.01 wt% graphene oxide (GrOx). Line H55 shows the level for H after 55 °C, H250 – after 250 °C (1 hour).

From tab.3 it is clear, that discussed composites can be also plasticized after 250 °C. This is indicated by the possibility of deeper penetration of Rockewll-s SteelSphere - up to 60 microns or more (instead of 30-50 microns without 250 °C) - unlike the H-polymer, which naturally loses plasticity after 250 °C. At the same time, fillers were found, the microhardness of which is almost insensitive to heating (see tab.1) or even grows after it (for marshalite).

Table 3.

Microhardness of the filled composites, at different thermal modes. Italic indicates the measurement at which or to which the sample was destructed. Designations for the destruction of samples: T - cracked, (T) - most samples in this series of tests were cracked

Soft = 55 ºC 5 h	20 mcm	30	40	50	60
Unfilled (H)	**150**	**230**	**310**	**380**	**450 (T)**
SiC	**210**	300 (T)	420 (T)	550 (T)	T
TiN	**270**	**350**	440 (T)	550(T)	T
SiO2 (marshalite)	400	500	550 (T)	T	-
Hard = 250 ºC 1 h					
Unfilled (H)	**170**	**250**	330(T)	T	-
SiC	**210**	**330**	**430**	**530**	**570 (T)**
TiN	**180**	**300**	**370**	**460**	**500 (T)**
SiO2 (marshalite)	**370**	**450**	**550**	**600(T)**	**700 (T)**

Another example of thermal hardening and thermal plasticization (elimination of unwanted brittleness) is observed for compositions of epoxy with water-binders - gypsum G5 and cements M400-M500 (table 4). These effects were recorded and published by us in works [118,124,126,130]. After 250 ° C, the compressive strength of composites with the neat (non-hydrated) cement almost does not change, and with pre-cured it increases, while the unfilled polymer noticeably (by one third) loses its strength. The neat (non-hydrated) gypsum gives approximately the same reinforcing effect in the composite heated at 250 °C. In all cases, after 250 °C, the abrasion resistance increases noticeably (the weight of the abraded mass decreases), while for the unfilled one, the resistance decreases (tab.4).

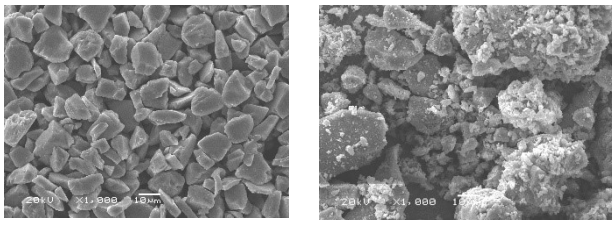
Table 4.

The strength parameters of composites cylinders (d = 6.5 mm; h= 11 + -1 mm).

Sample (50 wt% of filler)	*Load P (kgf)*	Modulus, $\times 10^3$, kgf/cm^2	Abrasion resistance
Unfilled polyepoxide	**350 (100%)**	**13,5 (100%)**	**0.12**
Gypsum neat	*220 (63%)*	8,5 (63%)	0.12
Gypsum hydrated (hardened)	220 (63%)	9 (67%)	0.13
Cement neat	345 (99%)	14 (104%)	0.18
Cement hydrated (hardened)	320 (91%)	14,6 (108%)	0.23
0.01wt% graphene oxide	350 (100%)	16,5 (122%)	0.10
Unfilled polyepoxide	**350 (100%)**	**13,5 (100%)**	0.12
Gypsum neat	*240 (69%)*	*10,0 (74%)*	0.18
Gypsum hydrated (hardened)	*210 (60%)*	*9,6 (71%)*	0.15
Cement neat	335 (96%)	13,0 (96%)	0.15
Cement hydrated (hardened)	300 (86%)	12 (89%)	0.12
0.01wt% graphene oxide	320 (91%)	14 (104%)	0.11
Unfilled polyepoxide	**245 (100%)**	**10 (100%)**	0.12
Gypsum neat	280 (114%)	12 (120%)	0.19
Gypsum hydrated (hardened)	215 (87%)	12 (120%)	0.19
Cement neat	300 (123%)	12,4 (124%)	0.21
Cement hydrated (hardened)	350 (143%)	12,2 (122%)	0.21
0.01wt% graphene oxide	215 (87%)	-	-

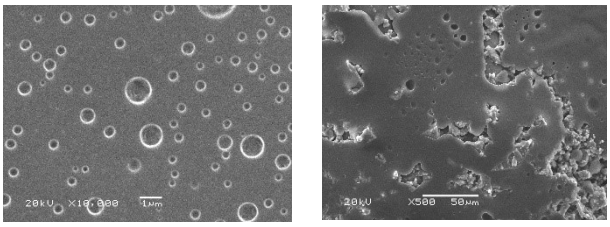
It is still difficult to explain the nature of this effect. It is probably related to the nature of the distribution and self-organization of some fillers in the polymer. Thus, SEM-Microscopy exhibits the morphology of a polymer composite with SiC (fig.2). Here, an interesting fact is visualized of a change (crushing and coarsening) of the size of filler microparticles (SiC), their transformation into a reinforcing, bonded system

(fig. 2). This should have a positive effect on the strength of the composite in the initial and strongly heated state. The same effect should be given by the frameworks of the structures of the cement in the epoxy (seen in Figure 3D). Changes in the size and shape of agglomerates are visible.



A B

Fig. 2. SEM images of initial silicon carbide (A) and its particles (B) in a polymer composite with 50 wt% SiC.



C D

Fig. 3. SEM images of the initial unfilled polymer (C) and its composite with 50 wt% cement.

My working with many other fillers (graphite, graphenes, sands, nanosilica, cellulose, alumina) did not yet give us information about new heat-strengthened epoxy systems. Thus, now can talk about the property of silicate, carbide and some other (metallic - micro-iron [116]) fillers as optimal for the manifestation of declared effects in polyepoxides.

Conclusions

1. There are fillers capable of imparting the ability to harden (or plasticize) polyepoxide after heating at extreme (critical) temperatures. 250-300 °C, degrading pure polyepoxide or usually fillerd epoxy-composites. These effects are called “thermo-hardening” and “thermo-plasticization” of epoxy composites, and the corresponding fillers are called thermo-hardening (thermoplasticizing).

2. The reinforcing effect of fillers after heating at extreme temperatures is clearly visible on the example of compressive strength, micro-hardness, and abrasion wear resistance. These fillers include M500-cement, G5-gypsum, Fe-microparticles and SiC-carbide, and to some characteristics (microhardness) – TiN-itride and SiO_2-marshalite.

3. The work shows a high perspective of filling of epoxides - for strengthening and imparting a new properties. The discovered effects of thermal-hardening and thermal-plasticization show that such filling gives the epoxy composite previously uncharacteristic properties - that are very important in a number of critical applications for industry, repair and creation of new materials. They show good reserves for strengthening the thermal-strength of epoxies through simple filling by available fillers.

DOI 10.46299/ISG.2021.MONO.TECH.II-227-257

2.3 Comprehensive environmentally safe water treatment technologies

Techno-economic feasibility for water purification from copper ions

Nowadays, the stock of fresh water for human needs are insignificant and exhaustive in many places around the globe. In different parts of the planet, fresh water supplies are absent or insufficient for agricultural, industrial, drinking and other household needs. More and more enterprises are focusing on the highly efficient schemes of water consumption. In the chemical industry, during manufacturing of galvanic elements, leather and fur products, printing, the release of heavy metal ions takes place [139–142].

The implementation of environmentally unreliable technologies in industry processes leads to increase in the content of different pollutants, including heavy metal ions, in wastewater. Ions of iron, cadmium, copper, chromium, nickel, cobalt, lead, manganese, zinc, molybdenum, mercury, etc. are cost common pollutants of industrial wastewaters. Ions of heavy metals are toxic and carcinogenic. Moreover, unlike organic substances, inorganic elements are not biodegradable and can accumulated in different living organisms. Thus, they have harmful effects ion living organisms causing serious health problems.

Hydrosphere pollution with these pollutants is one of the most serious and urgent problem of our time. Therefore, it is important to conduct research work on wastewater treatment from heavy metal ions to obtain pure water for technical and drinking purposes and to find the most effective methods for the following development of integrated technologies.

For strict control over the discharge of wastewaters into the water objects of the environment, it is necessary to use relatively inexpensive and effective methods of heavy metals removal. It is important to obtain a significant reduction in the discharge into water bodies of insufficiently treated wastewater, to create closed production cycles of water supply with the application of schemes for reuse of treated wastewater, to improve deep treatment technologies using more efficient processes and to reconstruct the existing treatment equipment using more efficient devices.

Today, different mechanical, physical and chemical methods can be used to treat wastewater from heavy metal ions. The implementation of these methods requires the use of special equipment, as well as materials and chemicals. Reagent method, ion exchange process, sorption, electrochemical method and membrane extraction is the most widely used methods for wastewater treatment [143–151].

Currently, the reagent method is most widely spread in treatment plants. This method involves adding of different reagents into the wastewater or sewage effluents, resulting in the transformation of toxic compounds into low-toxic or non-toxic with their further precipitations. $CaCO_3$ can be used as the precipitation reagent. A significant advantage of this process is that the moisture content of the precipitates is much lower (less than 50%) than during lime neutralization (more than 80 %). This offers a potential decrease in the amount of sludge during wastewater treatment. However, the disadvantage is that the reagent is chemically stable so it needs to be activated for further use. In addition, for example, activated antigorite and dolomite, as well as mechanochemical activated serpentine and magnetite can be applied.

Ferrite, lime and lime water are widely used to precipitate ions of heavy metals. For example, the application of the ferritization method allows to achieve a high degree of purification, and thus prevents the discharge of contaminated wastewater into natural water reservoirs and reduces water consumption due to the application of treated water in the circulating water supply system. During reagent method, the duration of the process at the temperature above 60℃ is 20-30 minutes, lowering the temperature to 30℃ leads to prolongation in the duration of the process over one hour. Lime is a quite appropriate reagent, as the reaction of precipitation of copper ions can takes place at normal temperature; thus, there is no need to spend extra energy to heat the solutions. The main disadvantage of reagent methods is the formation of large amount of wet sludge and the absence of the methods for it effective disposal, the need for additional facilities for sludge storage, and that can lead to secondary water pollution.

Copper ions are one of the most common and dangerous pollutants of the water objects of environment. The industrial discharges, also the corrosion of copper pipelines and different constructions are the main sources for water pollution with

copper ions. It is known that the intake of ions of heavy metals, even in relatively small quantity, reduces immunity, increases susceptibility to infections, affect the development of allergic reactions, autoimmune and cancer diseases. Copper ions also shows immunogenic effect. The increased concentrations of copper adversely affect plant organisms.

In accordance with regulatory documents, the MPC of copper in sanitary water bodies should be no more than 0.1 mg/dm^3, in the water of fishery reservoirs is less than 0.001 mg/dm^3. Despite the high efficiency of copper removal from water (99–99.5%), the residual concentration of inorganic pollutant in purified water does not always meet the requirements of sanitary standards for discharge of treated wastewater into natural reservoirs for cultural, domestic and other purposes. In this regard, the common technological scheme of wastewater treatment from inorganic pollutants often consists of two processes – reagent treatment and flotation.

Copper ions precipitation as a function of reagent consumption

Copper sulfate ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$) and lime ($Ca(OH)_2$) of a.g. were used throughout the experimental work. In order to study the properties of the composites, cement of I-500 type (mineralogical composition, wt. %: C_3S – 57,10, C_2S – 21,27, C_3A – 6,87, C_4AF – 12,19) was used.

In wastewater, copper can stay in ionic form as well as in the form of complex compounds. In this study, the initial concentration of copper ions in the solution was 1–100 mg/dm^3 and pH was 6.9.

The most effective removal of copper from aqueous solutions in the form of hydroxides is observed at pH in the range from 8.5 to 10.0. The increase in reagent consumption was expected effect the increase of pH.

After reagent treatment, water was left for the period of 60 min for the formation of copper hydroxide and its precipitation. Then the precipitate was filtered and the residual content of copper ions in water solution was determined. The iodometric determination was used for this purpose. The efficiency of copper ions removal was calculated by the formula:

$$Z = \frac{C_0 - C_f}{C_0} \cdot 100, \%$$

Z – efficiency of copper ions removal, %;

C_0 – initial copper ions concentration in aqueous solution, mg/dm^3;

C_f – final concentration copper ions concentration in aqueous solution after reagent treatment, mg/dm^3.

Water treatment from copper ions was carried out according to a statistical 2^2-factorial design and the parameters of the processes are shown in Table 1.

Table 1.

2^2-factorial design for copper ions precipitation

Factor	Levels		
	(-1)	(1)	(0)
Initial concentration of copper ions, mg/dm^3	2	100	51
Reagent consumption, mg-eq/dm^3	5.4	10.0	7.7

The variables studied in this work were copper ions initial concentration (X_1) and reagent consumption during treatment (X_2).

The model of the technological process can be described by the following second-order polynomial:

$$Y = b_0 + b_1 \cdot X_1 + b_2 \cdot X_2 + b_3 \cdot X_1 \cdot X_2 + b_4 \cdot X_{12} + b_5 \cdot X_{22}$$

where Y is a response factor6 namely efficiency of copper ions removal, %;

b_0-$b_{1,2,3,4,5}$ are regression coefficients.

The variance analysis was done with application of MINITAB 17 software and the response was built in MATLAB software. All experiments in this study were

performed three times and the average value was given. The investigations were performed at 20–25°C.

During the reagent treatment of wastewaters, the inorganic pollutants can be separated from the water solution in the form of precipitates, which can be separated from solution by filtration or centrifugation. Then the purified solution can be discharged into natural water reservoirs or reused in the technological processes.

Lime was used as the reagent for water model solution treatment due to economic reasons, namely price. When lime was added, copper ions precipitated in the form of hydroxides ($K_{sp}(Cu(OH)_2\downarrow) = 5.6\cdot10^{-20}$; solubility = $2.7\cdot10^{-6}$ mol/dm^3 (0.17 mg Cu/dm^3):

$$2Cu^{2+} + 2OH^- \rightarrow Cu(OH)_2\downarrow$$

The application of alkaline reagent raises the pH of the solution, resulting in reduce of copper ions solubility. At the pH range from 8.5 to 10.0, copper ions are removed more efficiently and in the form of hydroxides.

The results of the research work at different initial Cu^{2+} concentration in water solution and lime consumption are shown in Table 2.

Table 2.

Effect of Cu^{2+} concentration and lime consumption onto removal efficiency

X_1	2	2	2	100	100	100	51
X_2	5,4	7,7	10,0	5,4	7,7	10	7,7
Y	99,9	99,9	99,9	46,4	73,2	99,9	92,6

As can be seen from the data in Table 2, the lime consumption has a significant effect on copper ions removal efficiency.

The increase in the efficiency of removal from the aqueous solution with increased consumption of the reagent is connected with an increase of pH, resulting in the formation and precipitation of copper hydroxides. The second-order model of

normalized variables for factors X_1 and X_2 (statistically significant coefficients are also given) is the following:

$$y = 101.51 - 0.9296 \cdot X1 - 0.16458 \cdot X2 - 0.0025198 \cdot X1^2 + 0.11868 \cdot X1 \cdot X2 - 0.0047259 \cdot X2^2$$

The model fitted quite well with the experimental data as the R^2-value is close to 1. 3D-surface response was also plotted to show the interactions of main effects on efficiency of copper ions removal in detail (Fig. 1).

The higher value of the efficiency of copper ions removal was achieved during the use of lime in the quantity of 10 mg-eq/dm^3 of water solution with the concentration of copper ions 100 mg/dm^3.

Table 3 shows the optimal values of lime consumption for water treatment with different initial concentrations of copper and the cost of the technology is also shown.

The process of precipitation of copper ions in the form of hydroxide have many advantages such as simple implementation of the technique, low cost, also it is easy to control pH of the process. However, the main disadvantage is the formation of large volumes of sludge during the treatment, which must be processed.

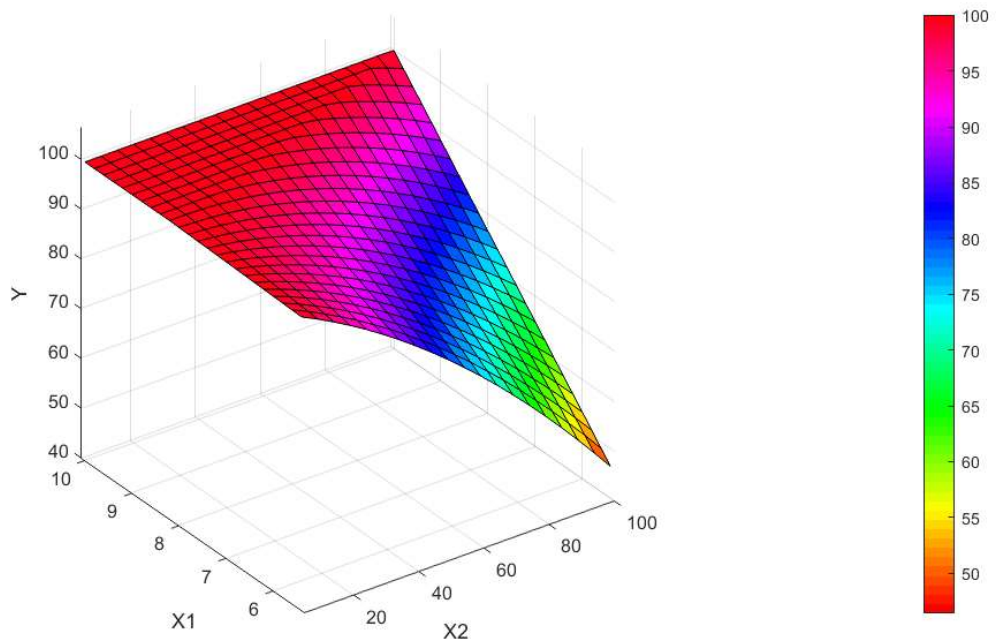


Figure 1. 3D-surface response for the efficiency of copper ions removal

Table 3.

Optimal values of lime consumption for water treatment at different initial concentrations of copper ions

Concentration of Cu^{2+}, mg/dm^3	Lime consumption, mg/dm^3	Cost of the technology for water treatment, \$/m^3
1.00	4.30	41.14
2.00	4.80	46.28
5.00	5.40	51.42
10.00	6.50	61.71
20.00	7.60	72.00
50.00	9.20	87.42
100.00	10.00	95.14

Utilization of sludge afterwaste reagent treatment of water in composition of cement

Reagent method of water purification characterized by the formation of a large amount of sludge, which should be subject to dehydration and drying. Due to this, $Cu(OH)_2$ in a form of solid powder was obtained and used as chemical additive in the composition of cement.

The precipitates were added into the composition of cement in the amount of 0.5–1.5 wt. % by co-mixing of the components in a laboratory ball mill during 10 min. Mechanical and physical properties of cement composites such as normal density, hardening time, the compressive strength and water separation coefficient were studied [152, 153].

Today, from an ecological point of view, it is necessary to solve the problem of utilization or practical reuse of various solid wastes of different industries, as well as to improve the recycling and the reuse of liquid wastes of different branches on industry. Therefore, a method of efficient disposal of the formed precipitate $Cu(OH)_2$ in the composition of cements was studied.

In Ukraine according to the State standards, no more than 5 wt. % of additives can be applied in the composition of cement. The impact of copper hydroxide, which was formed during reagent water treatment) on the physicochemical properties of cement is presented in Fig. 2-5. The precipitates were introduced into the cement composition in the amount of 0.5, 1.0 and 1.5 wt. %.

As can be seen, copper hydroxide significantly accelerates hardening time. According to the data, copper hydroxide increases the mechanical strength of the cement samples by 8 % after 2 days of hardening and by 27 %after in 28 days of hardening. The normal density of cement and cement samples with different amount of copper hydroxide was 25 %. The adding of the salt does not affect the value of this parameter. Similarly, no effect was observed on the coefficient of water removal from the cement slurry.

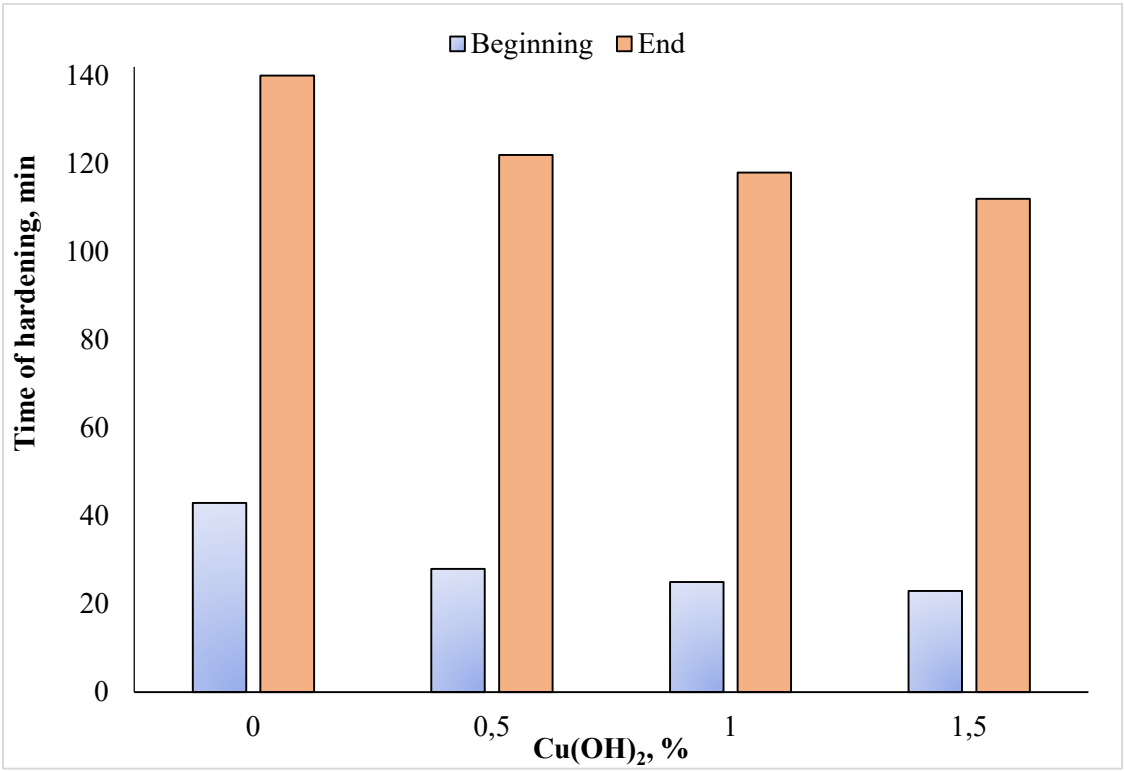


Figure 2. Dependence of hardening time of cement from the consumption of copper hydroxide as an additive

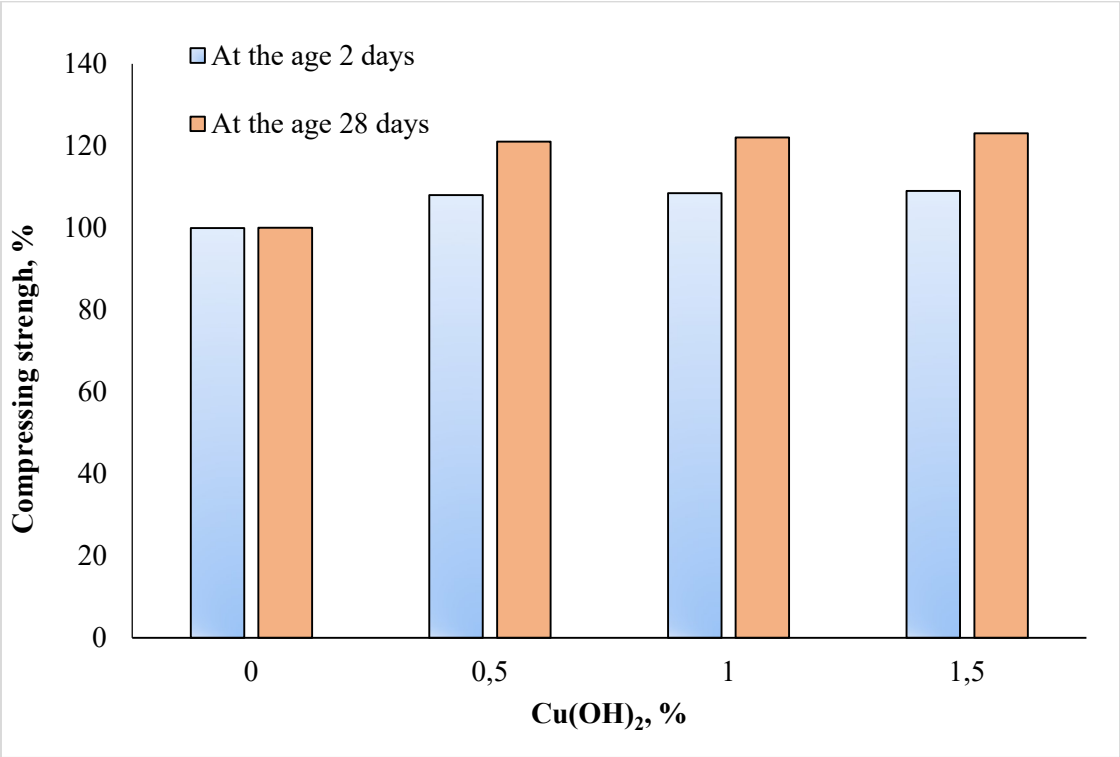


Figure 3. Dependence of compressive strength of cement from the consumption of copper hydroxide as an additive

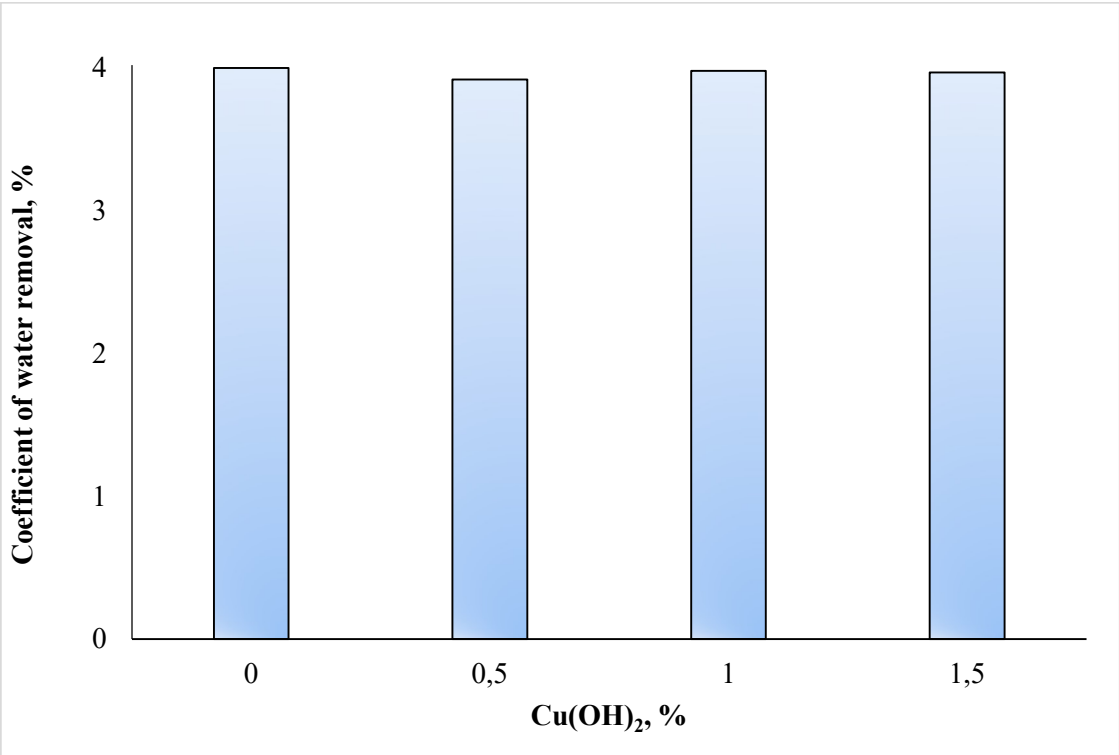


Figure 4. Dependence of coefficient of water removal of cement from the consumption of copper hydroxide as an additive

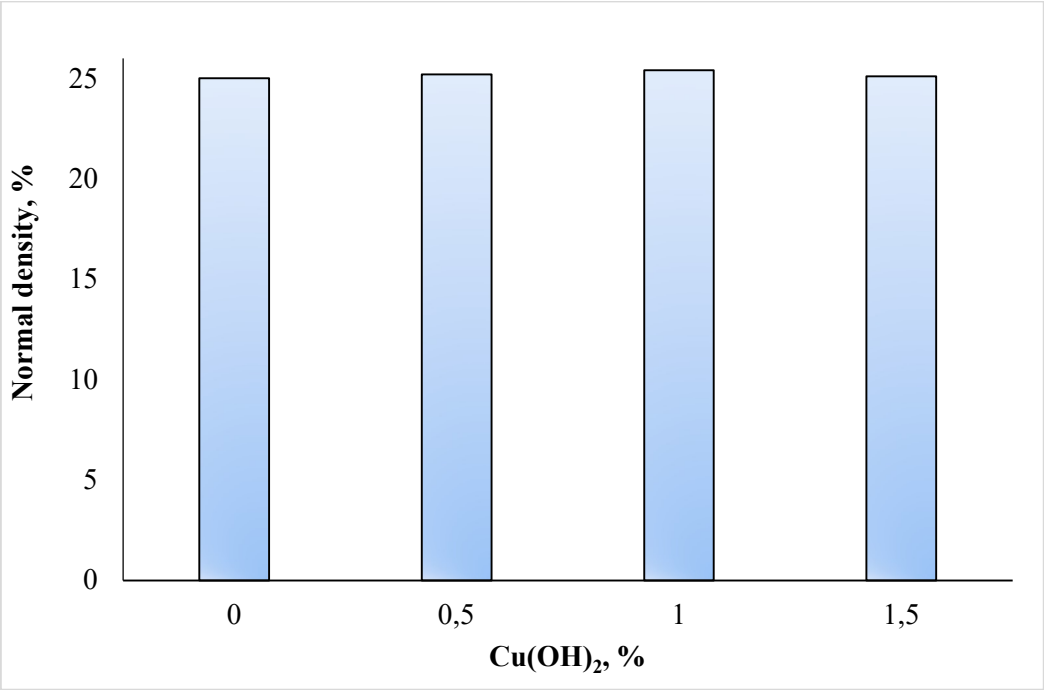


Figure 5. Dependence of normal density of cement from the consumption of copper hydroxide as an additive

Thus, the copper hydroxide precipitate6 which is formed during the reagent water treatment, can be recommended for the use in the composition of cement as chemical additives that will help to regulate and accelerate the hardening time of cement samples.

The scheme of complex technology for wastewater treatment from copper ions is was developed and is presented in Fig. 6.

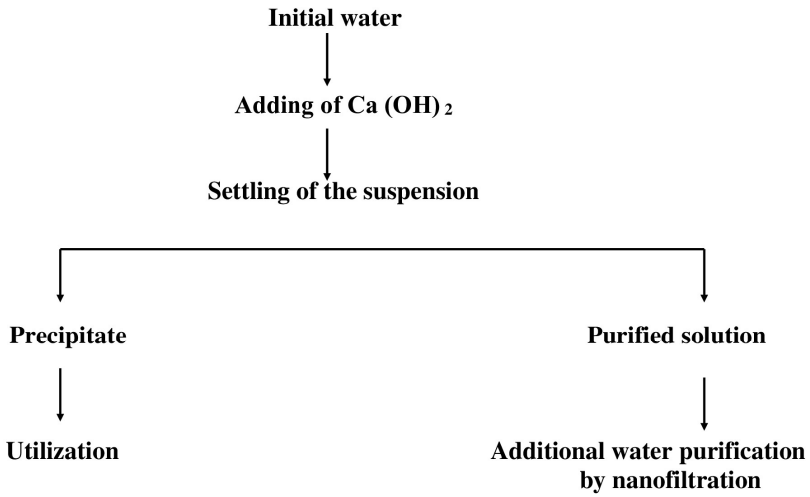


Figure 6. Scheme of complex technology of wastewater treatment from copper ions using reagent method

After reagent treatment, if necessary, it is possible to apply a subsequent treatment of water on the nanofiltration membrane, which will increase the removal efficiency of Cu^{2+} ions to 99.6%.

Water treatment with biosorbents

Today, surface and groundwater are the main sources of fresh water all over the world. So the problem of their preserving is quite urgent. Ukraine is characterized by both qualitative and quantitative depletion of water resources due to their contamination because of the discharge of huge volumes of insufficiently treated wastewater. Heavy metals ions can be discharged into the natural sources with sewages of different production of different branches of industry; can interact with other organic and inorganic compounds of water and can exhibit toxic impact towards living organisms.

High pollution of natural water bodies with mineralized water and toxic compounds requires the development of effective methods to decrease this impact. One of the priority tasks in the field of environmental protection is to find safe and effective wastewater treatment method. For nowadays, sorption, reagent, membrane, electrochemical, ion exchange, biological methods can be used for wastewater treatment from different pollutants.

At present, the urgent problems of utilization of waste from agro-industrial complex, rational use of nature and transition to the use of environment-friendly and energy-efficient technologies are acute. One of the promising directions is the application of principles of "green chemistry", namely the development of technological processes with the application renewable raw materials. In recent decades, publications show that traditional expensive sorbents can be replaced by cheap materials derived from natural raw materials based on lignocellulosic complex, which can be easily modified in different ways. Natural biopolymers of plant origin have a greater number of valuable properties, due to which such materials can be used in chemical, pharmaceutical, food and many others branches of industry. The possibility of the use of renewable raw materials in the production of different materials

and products for the protection of improvement and for the solution of the ecological problems related to technogenic pollution of water objects by various organic and inorganic toxicants, including radioactive elements, heavy metal ions, petroleum products and other pollutants is of particular interest. It is also necessary and important to use “green” technology both in Ukraine and abroad. Each region is able to choose its own raw material source depending on the specificity of the agro-industrial complex.

Nowadays, to ensure the sustainable development of the agro-industrial complex, the utilization of solid waste of agriculture and food industry should involve use of such wastes as the secondary raw materials for the production of a wide range of materials and products, such as animal feed, fuels, fertilizers, medical and food products. Today, Ukraine is one of the largest exporters of agricultural products to Europe. A large amount of plant wastes is generated each year here. The main method of their utilization is burning. The efficiency of this method is quite low because of the low heat capacity. At the same time the huge impact on environment is observed. From the economic point of view, it is promising to use solid wastes of agro-industrial complex as biosorbents for wastewater treatment [154–163]. Chemical activation and modification of natural plant materials promoted the improvement of their sorption properties for water purification [164–170]. One of the promising ways of utilization of spent biosorbents can be their application in the composition of building materials [171–181].

The purpose of this part of work was to develop the efficient application of biosorbents and further utilization of waste biosorbents as additives in the production of building materials, which will significant contribute to the creation of low-waste technology and will ensure the sustainable development principles.

Lignocellulosic and cellulosic biosorbents were obtained from walnut shells by organosolv and oxidative-organosolv treatment as described in our previous paper. Initial material and biosorbents were used as additives in combination with cement. To study the physical and mechanical properties of building composites, the cement of I/500 type was used. For this purpose, cements preparation was done by mixing

components in the ball mill for 20 min. The cement samples were tested for normal density, coefficient of water removal, hardening time and compressive strength.

The structure as well as the sorption properties of materials based on biopolymers depend on the content of cellulose, lignin, hemicelluloses, extractives and mineral components, which define the ability of complex formation and cation exchange ability. Treatment of plant residues with acetic acid and with a mixture of acetic acid and hydrogen peroxide, under mentioned conditions, results in the formation of biosorbents of different composition. It is possible to vary the parameters of treatment depending on the intended application of the final product. The chemical composition of original walnut shells and obtained biosorbents of lignocellulosic and cellulosic types is shown in Fig. 7. As can be seen, the modification of the original material with acetic acid at the temperature 90 °C during 2 h leads to the partial degradation of low-molecular polysaccharides, the enrichment of the sorbent with lignin and the formation of lignocellulosic biosorbent is observed. The acidic treatment is also promoting the removal of mineral components from biomass.

Application of a mixture of acetic acid and hydrogen peroxide for the treatment of walnut shells promotes the removal of a larger portion of aromatic compounds, resulting in the formation of cellulosic biosorbent due to the presence of peracetic acid in solution at high temperatures, which is a strong delignifying reagent.

The results of the sorption study for Cu^{2+} ions from model solutions by the origin walnut shells and obtained biosorbents are represented in Fig. 8. Data analysis shows that the origin raw material has the highest sorption affinity for heavy metal. Treatment of shells with acetic acid and with a mixture of acetic acid and hydrogen peroxide results in a decrease in the sorption ability of biosorbents for the studied toxicant.

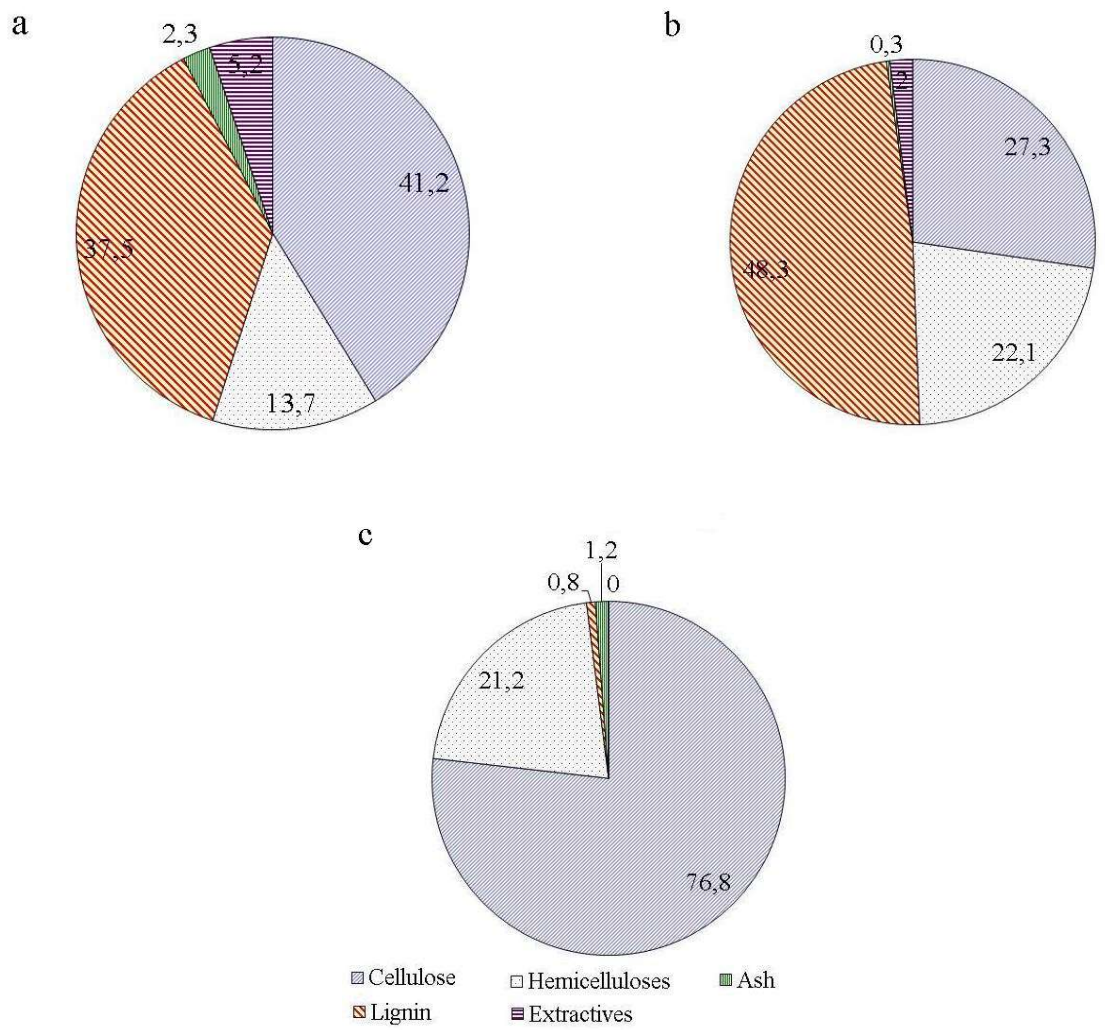


Figure 7. Chemical composition of original walnut shells (a), lignocellulosic (b) and cellulosic (c) biosorbents from walnut shells

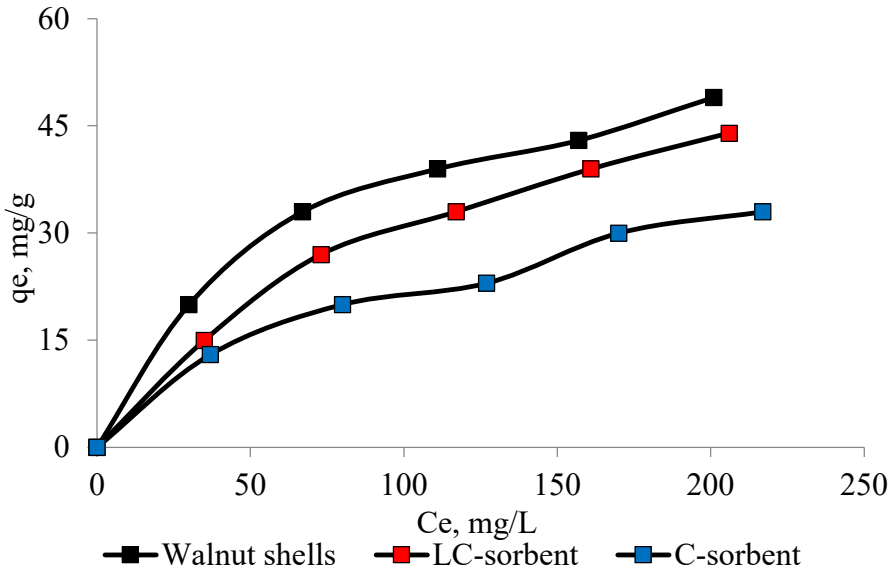
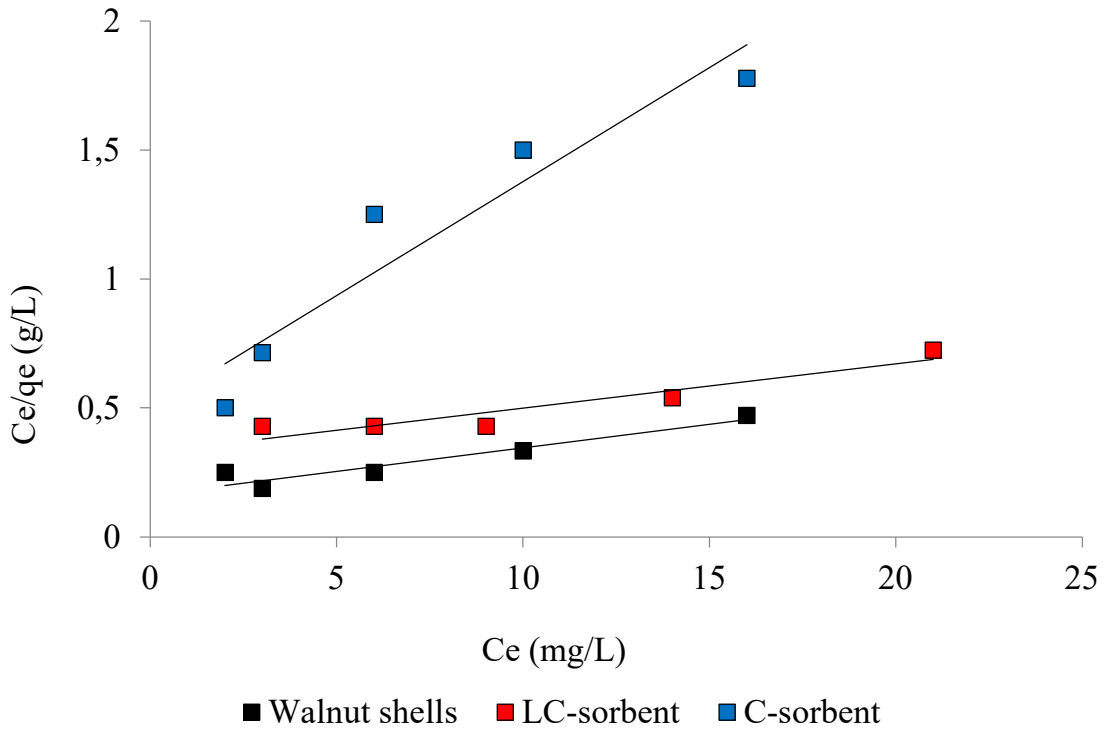


Figure 8. Sorption capacities towards Cu^{2+} from solutions of different concentrations

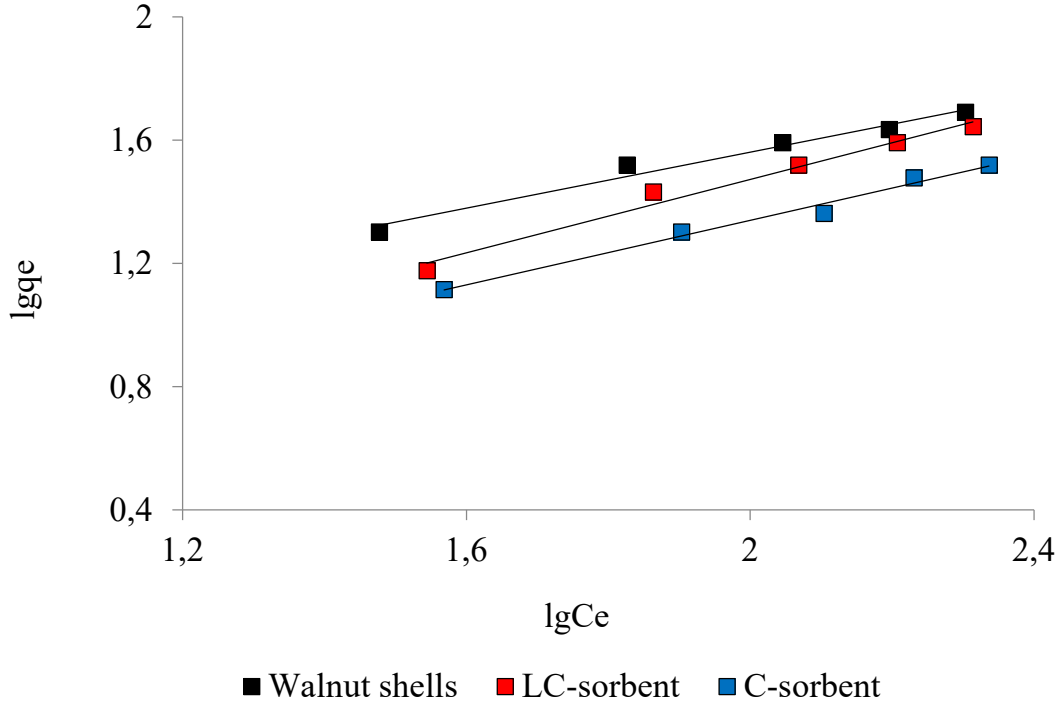
It is obvious that the presence of different functional groups (hydroxyl, methoxyl, carbonyl, etc.) in plant raw materials results in specific sorption properties towards metal cations. In addition, tannins from origin raw material can bind heavy metal ions. Mineral components of the origin raw material, e.g. potassium, calcium, sodium, magnesium etc. also play a significant role in ion exchange processes.

The highest mineral content and high lignin content in the origin sample are responsible for the maximum sorption capacity for Cu^{2+} (49 mg/g, respectively). Treatment of shell with acetic acid leads to a significant reduction in its minerals, but the relative content of lignin is slightly increased. Perhaps this causes a slight decrease of the sorption capacity of the lignocellulosic biosorbent toward the heavy metal cation and the maximum sorption capacities for Cu^{2+} was 44 mg/g. The lowest sorption capacity corresponded to the cellulosic sorbent (33 mg/g), which had the minimum content of mineral compounds and lignin.

The linearized forms of the isotherms for sorption of Cu^{2+} on studied materials are presented in Fig. 9. The values of R^2 for the Langmuir adsorption isotherm models even do not exceed 0.95 (Table 4). The data from Table 4 indicate that the adsorption processes fit well with the Freundlich model which describes physical and chemical sorption on heterogeneous surface.



a



b

Figure 9. Langmuir isotherms for Cu^{2+} (a) and Freundlich isotherms for Cu^{2+} (b)

Table 4

Parameters of adsorption isotherm models for Fe^{3+} and Cu^{2+}

Sample	Langmuir			Freundlich		
	K_L, mg/L	Q_m, mg/g	R^2	K_F, L/g	n	R^2
Walnut shells	$1.5 \cdot 10^{-2}$	63.3	0.9421	4.49	2.2	0.9751
Lignocellulosic biosorbent	$8.8 \cdot 10^{-3}$	62.8	0.9422	1.91	1.7	0.9811
Cellulosic biosorbent	$8.5 \cdot 10^{-3}$	49.3	0.9269	1.96	1.9	0.9856

Due to high availability as well as to low cost of raw materials, such biosorbents can be easily utilized without regeneration. For nowadays, the effective methods of disposal of such spent biosorbents have not been developed. The content of cellulose, lignin, hemicelluloses, extractives and ash in biosorbnets affects the ability to swell in

water solutions. This feature is very important and must be taken into account when developing disposal method.

According to State standard, it is allowed to introduced up to 5 wt. % of additives to cement composition. Therefore, original walnut shells was introduced into the cement of type I-500-D, without any additives, in order to evaluate the effect of the walnut shells on the different properties of cement. The shells in a form of fine powder (particle size of 1-2 mm) were used for this purpose.

The influence of the original and modified walnut shells on the normal density of cement samples is given in Fig. 10. The results of the study indicate that original walnut shells act as a fine additive; the normal density is growth with the increase of shells content in the bulk of cement samples. The adding of 1 % of walnut shells leads to insignificant change in the value of normal density. Further increase in shells content up to 5 % results in growth of the parameter by 1.2 times. The change in the normal density is taking place due to the fact that more water is needed to form adsorption water coats around fine particles of the walnut shells. The higher shells content, the more water is consumed to obtain cement of normal density.

Fig. 11 shows that the hardening time is accelerated by 2.5 times at the content of walnut shells up to 5 %. The acceleration of hardening time is taking place due to the fact that the fine additive plays role of a thickener (similar to clay).

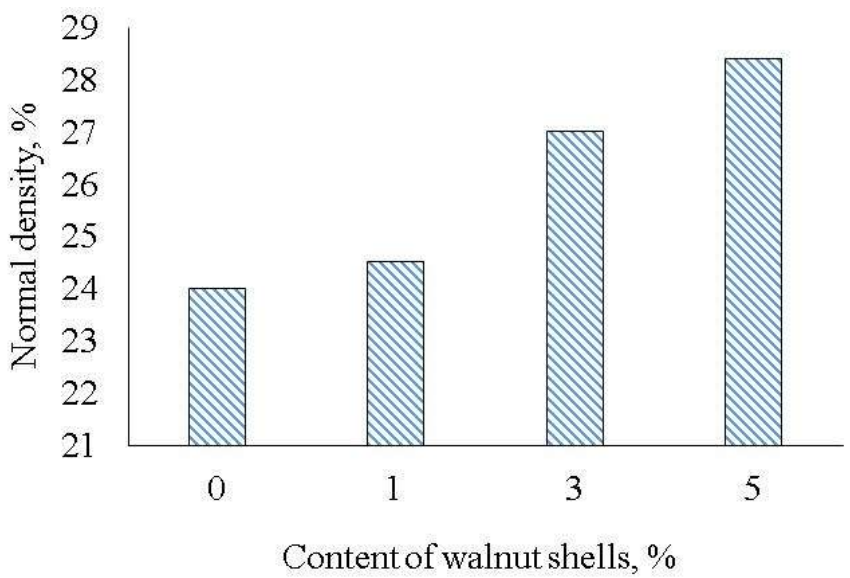


Figure 10. Effect of walnut shells content on normal density of cement

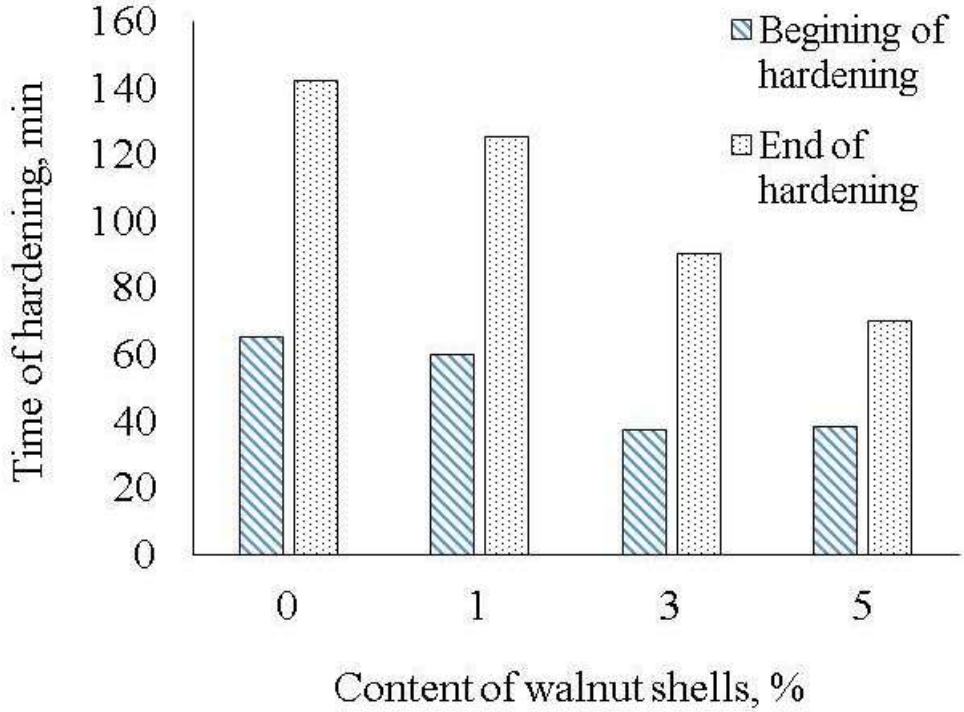


Figure 11. Effect of walnut shells content on hardening time of cement

The adding of walnut shells has a negative effect on the cement compressive strength as can be seen from Fig. 12.

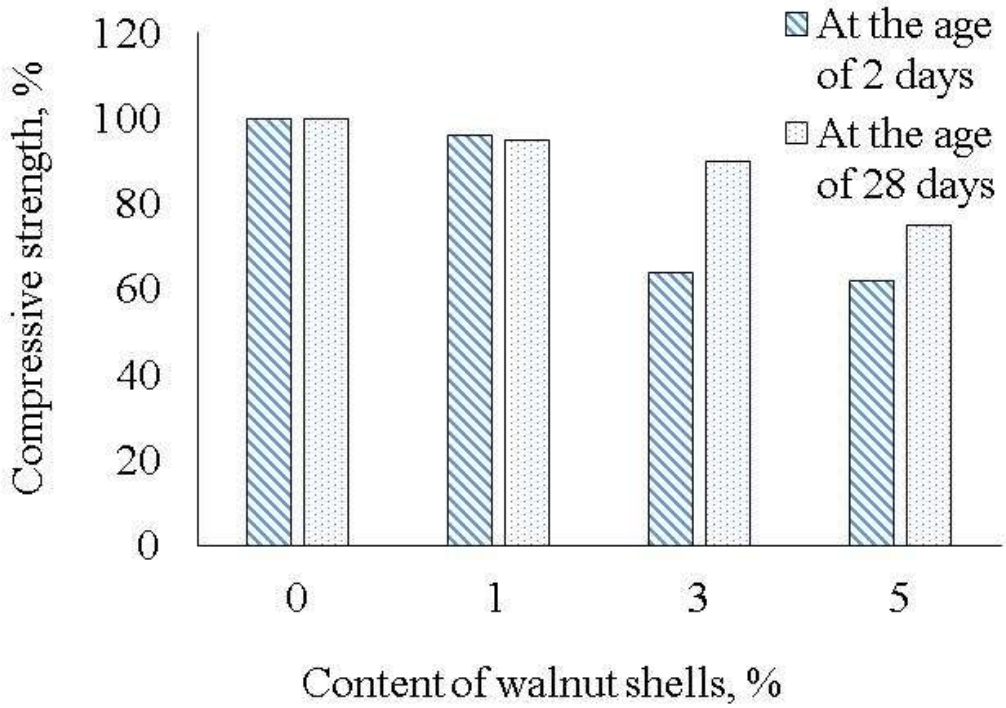


Figure 12. Effect of walnut shells content on cement compressive strength

The strength of samples with the adding of shells after 2 days is less by 6-38%, after 28 days is by 8-25%.

Such results can be explained by the increased normal density of the cement. As the walnut shells do not effect to hydration and hydrolysis, and are unable to harden, the excess of water that is spent into the formation of adsorption coats around the shells particles and is not expended on the hydration of the clinker minerals and stays in the free state (early hardening period) or evaporates, thus resulting in the formation of pores in the cement stone (late hardening period).

The value of water removal coefficient insignificantly increases up to 6% with the increase of walnut shells content form 1 to 3% in cement samples, further increase in shells content has no effect on this parameter (Fig. 13).

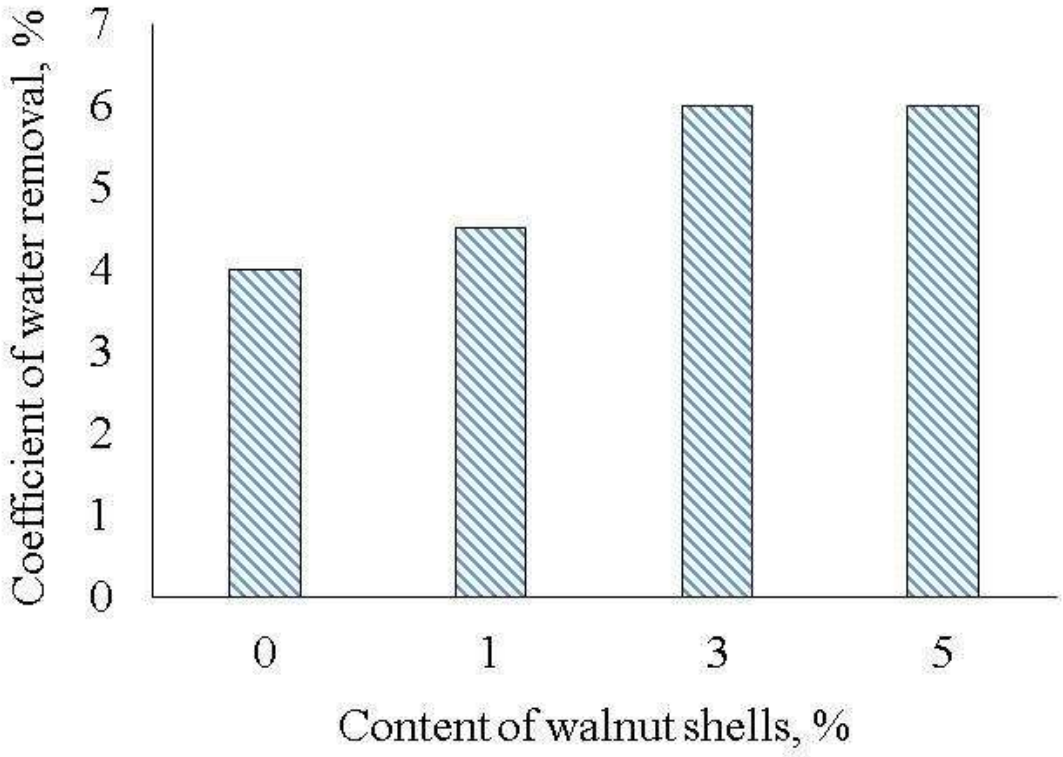


Figure 13. Effect of walnut shells content on water removal coefficient

Therefore, original walnut shells have a slight negative impact on the strength properties and water removal coefficient of cement. Thus it can be recommended for

the application as an additive in the composition of cement in an amount of no more than 1 %.

The influence of the cellulosic and lignocellulosic biosorbents on the properties of cement was also studied. The introduction of 1% modified walnut shells to cement also leads to an increase in the value of normal density of the samples, as shown on Fig. 14. Cellulosic biosorbent has a greater effect on cement strength properties due to its fibrous structure and due to the presence of different oxygen-containing groups on its surface, which can participate in the formation of additional hydrogen bonds with molecules of water.

Both biosorbents of lignin and lignocellulosic types accelerate the time of hardening (Fig. 15), and the values are affected by the nature of the materials.

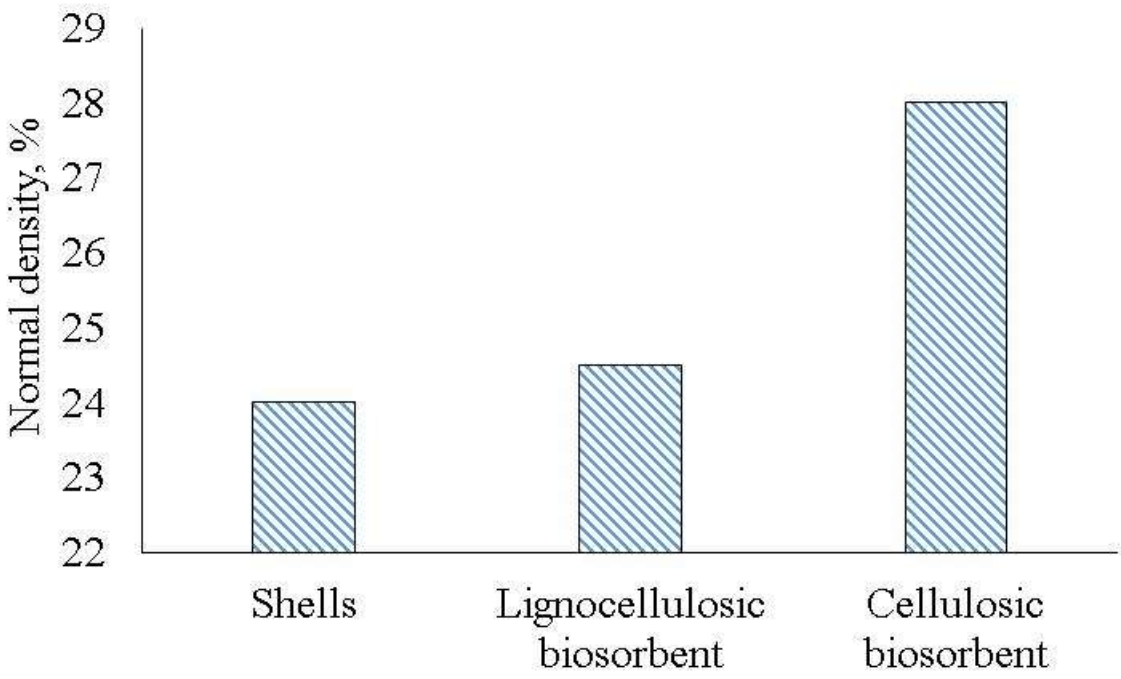


Figure 14. Effect of original material and biosorbents on cement normal density

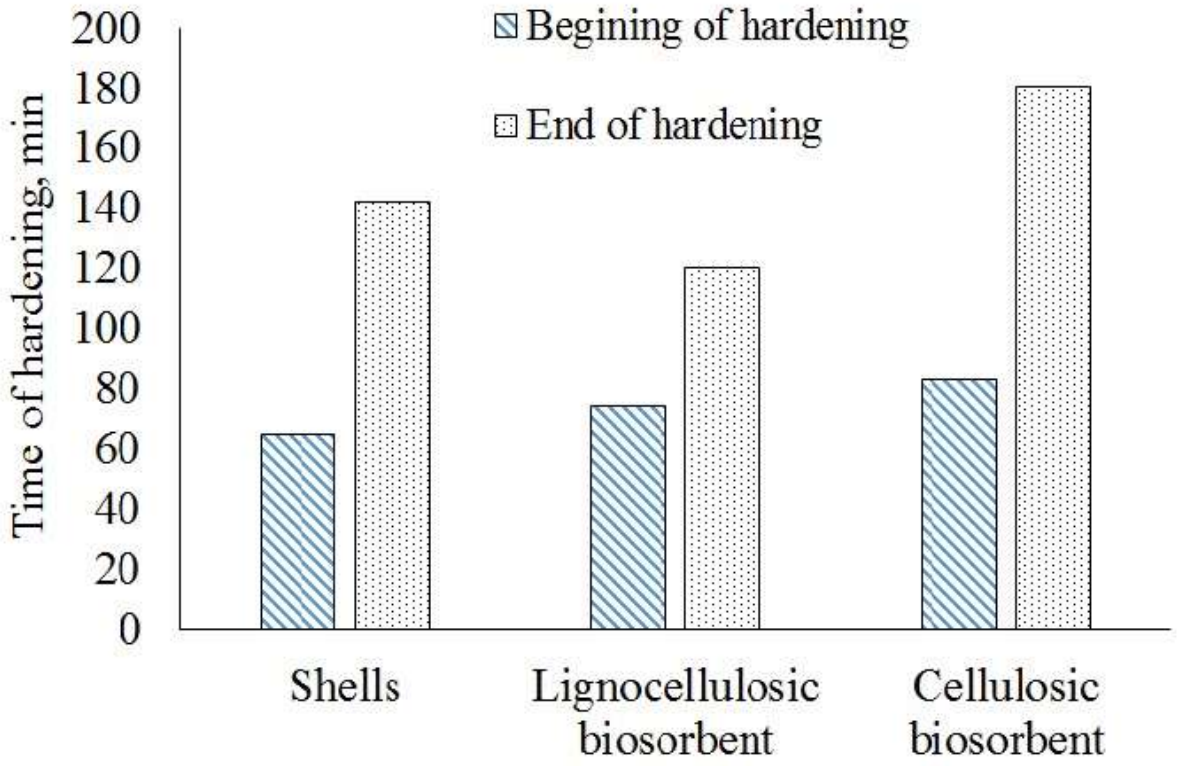


Figure 15. Effect of original material and biosorbents on cement hardening time

The higher lignin content in material, which is used as additive, the faster the hardening time due to the presence of methoxyl groups on its surface, which exhibit which are characterized by hydrophobic properties. Sample with higher cellulose content has the longest period of hardening time due to the ability to swell in water medium.

The results of the study of the compressive strength of cement with the natural plant materials in its composition are shown in Fig. 16. Cellulose in the composition of the modified biosorbents affects the slowing of hardening time, which is reflected in the strength properties of the cement samples at the age of 2 and 28 days. Adding of lignin-enriched biosorbent based on walnut shells to cement composition does not lead to a significant reduction of the mechanical and physical properties of the cement samples. Modified raw materials in the composition of the cement show different effects on the coefficient of water removal (Fig. 17). As can be seen, cellulosic biosorbent reduces the dehydration ability of cement sample.

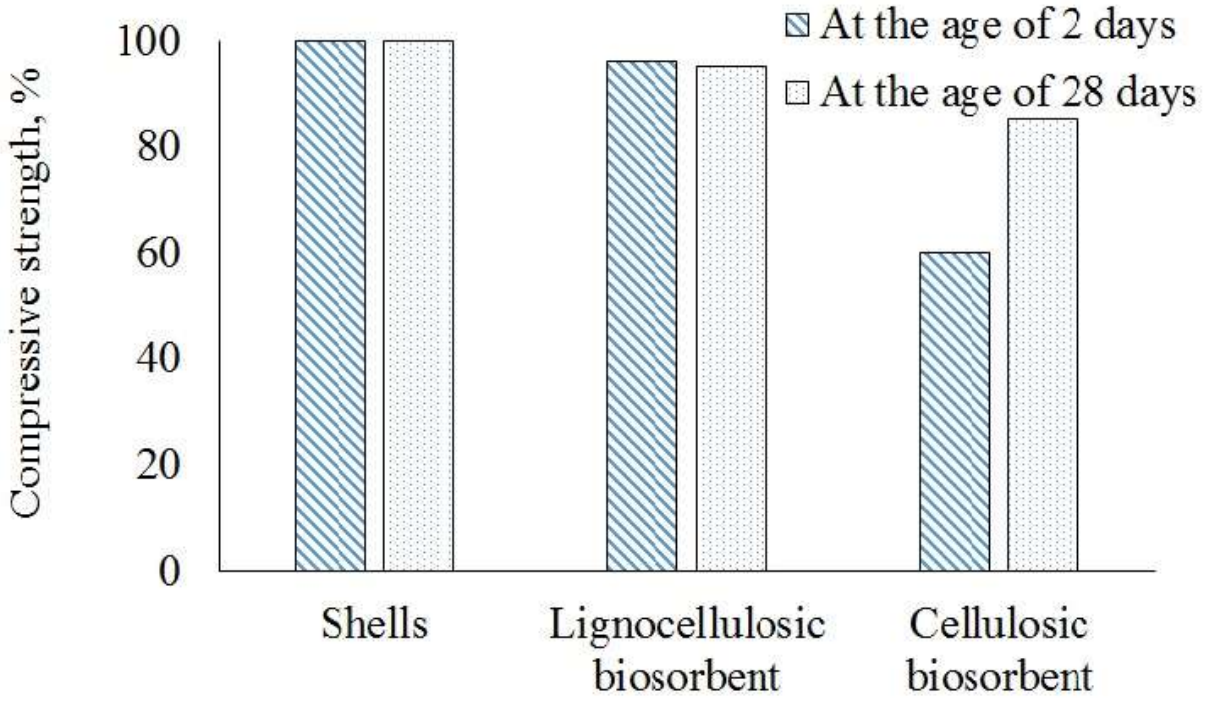


Figure 16. Effect of original material and biosorbents on compressive strength of cement

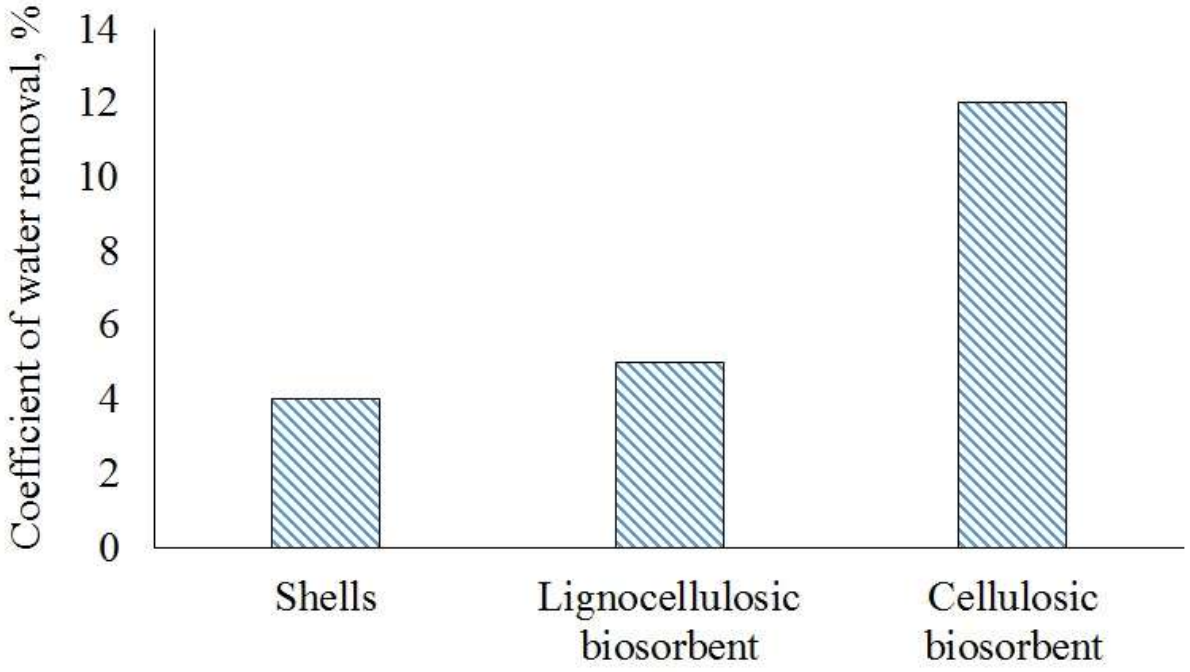


Figure 17. Effect of original material and biosorbents on coefficient of water removal of the cement

So it can be concluded that biosorbent enrich in lignin similarly to original walnut shells can be recommended for use as an additive in an amount of no more than 1%. However, at the same time cellulosic biosorbent has a negative effect on all cement mechanical and physical properties.

Effective solution of the problem of utilization of plant wastes in the interests of ecology

Due to the prolonged growth of anthropogenic impact, environmental pollution occurs all over the world. This leads to the pollution of all elements of biosphere - atmosphere, lithosphere and hydrosphere. The content of organic substances, petroleum products and heavy metal ions exceeds the established standards not only in Ukraine. Heavy metals ions causes enormous damage to the environment, for instance, the functioning of activated sludge is disturbed, hydrobionts is significant damaged, ability of reservoirs for self-purification decrease.

In order to create a complex low-waste technology of wastewater demineralization and purification from heavy metal ions, the paper defines rational conditions for the utilization of waste biosorbents as additives in the production of building materials or fillers of polymeric materials used in construction.

The aim of the work is to study the effect of chemical modification of plant wastes of food industry with orthophosphoric acid into properties of biosorbents and to investigate the effect of spent biosorbents consumption on the properties of cement.

Grounded walnut shells (fraction with a particle size of 0.5-1.0 mm) with a content of cellulose 41.2%, lignin 37.5%, resins, fats, waxes 5.2%, mineral components 2.3 % were used as a raw material.

Modification of walnut shells was carried out by the partial hydrolysis with H_3PO_4 at 15-75 wt.%, solid to liquid ratio was 1:5, at the temperature 100 °C for 60-180 min. By the end of the phosphorylation process, the samples of the lignocellulosic biosorbents were filtered, washed with distilled water to achieve neutral pH and air-dried to a moisture content 6 wt.%.

The gravimetric method was used to determine the biosorbents yield. The absorption capacity of the original material and modified shells towards methylene blue was determined in static conditions using a model solution with a cationic dye concentration 100 mg/l. The process duration was 24 h. The initial and equilibrium concentrations of sorbate in solutions were determined by spectrophotometric method using a SPEKOL 11 spectrophotometer. The wavelength for dye was 630 nm.

Studies of ion-exchange properties (static exchange capacity) of original and phosphorylated shells were determined by the amount of Na^+ uptake from 0.1 N NaOH solution during 24 h.

Original and modified shells were also applied as additives in the composition of cement. To investigate the effect of phosphorylated biosorbents present in the composition of cement on its different properties, the I/500 type cement was used for this purpose.

The mineralogical composition of the cement was the following, wt. %: C_3S – 57.10, C_2S – 21.27, C_3A – 6.87, C_4AF – 12.19. Samples preparation was carried out by mixing all components in the ball mill for 20 min. The cement samples than were tested for hardening time, normal density, compressive strength.

Influence of H_3PO_4 concentration and time of phosphorylation on biosorbents properties

Table 5 presences the results of the investigation of sorption properties of phosphorylated biosorbents namely the efficiency of methylene blue removal from the water solution and the static exchange capacity towards Na^+ of original and modified materials depending on the time of phosphorylation with H_3PO_4.

Table 5.

Biosorbents yields and sorption properties

H_3PO_4 concentration, wt.%,	Time of modification, h	Biosorbents parameteres		
		Yield, %	Static exchange capacity for Na^+, mg-eq/g	Efficiency of methylene blue uptake, %
-	-	-	1.48	39.2
30	60	80.0	2.49	51.3
	120	78.7	2.78	53.0
	180	70.4	2.94	57.5
50	60	77.1	2.94	55.3
	120	70.6	3.29	69.3
	180	65.6	3.33	80.1
75	60	70.9	2.99	58.2
	120	63.1	3.36	71.6
	180	58.8	3.37	79.9

The results of the experiments show that the parameters of the modification significantly affect all biosorbents properties.

The increase in concentration of acid from 30 to 75 % promotes a decrease in the yield of the biosorbents. The same is observed with increasing in modification time. In spite of this, the sorption ability was improved as the static exchange capacity towards Na^+ and efficiency of methylene blue sorption increase throughout the investigated range. This can be explained by the fact that during the process of phosphorylation the removal from the plant raw materials of organic and inorganic substances, depolymerization of polysaccharide components, which leads to the formation of more porous structure in lignocellulosic products, take place.

The sorption of the cationic dye on such biosorbents occurs both due to physical adsorption and by the mechanisms of chemical uptake with the participation of functional groups of the modified material.

The technological scheme for water treatment with the application of biosorbents

On the basis of the given results, a complex technology of water demineralization can be proposed. The scheme for the efficient wastewater treatment from heavy metal ions using biosorbents based on walnut shells is presented in Fig. 18.

Wastewater, which contains heavy metal ions, enters the reservoir *1*, where, in case of presence of divalent iron ions, the air is supplied by the compressor. During intensive aeration, the oxidation of ferrous iron to form insoluble ferric hydroxide occurs, which is than separated on a mechanical filter *2*. From the mixer *3* wastewater enters the chamber for biosorption purification *4*, where the special system *11* doses the required amount of biosorbent. The process is carried out at a constant stirring, which increases the efficiency of sorption. The treated water is separated from the waste sorbent in the separator *5*. The spent biosorbent is dehydrated on the filter press *8* and then dried in the dryer *9*. The dry biosorbent is then can be utilized.

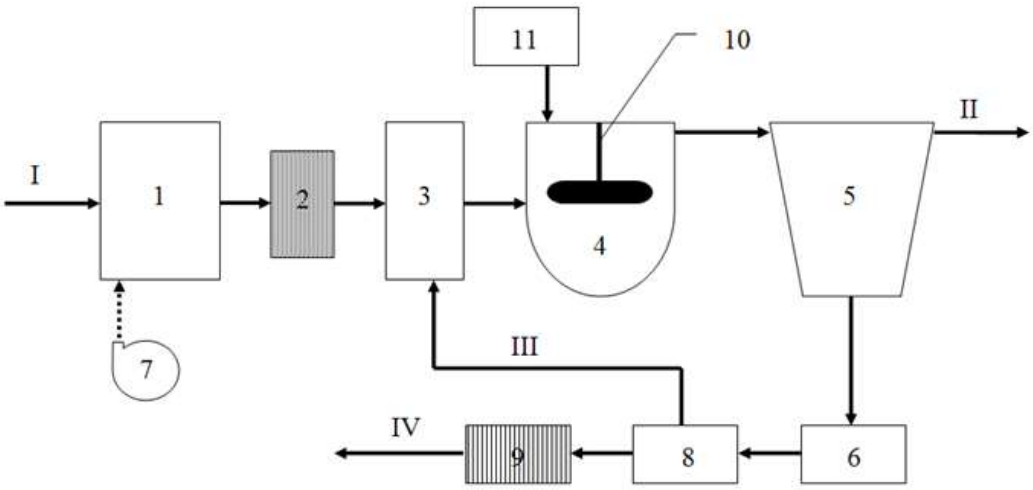


Figure 18. Technological scheme for wastewater treatment from heavy metal ions using sorbents based on walnut shells: I – wastewater; II – treated water; III – filtrate from the filter press; IV – dry biosorbent for utilization

1 – collecting tank; 2 – mechanical filter; 3 – mixer; 4 - chamber for sorption purification; 5 – separator for separation of waste sorbent; 6 – waste sorbent collector; 7 – compressor for blowing air; 8 – filter press; 9 - dryer for waste sorbent; 10 – mixer; 11 – system of dosing and delivery of biosorbent

Application of waste biosorbents as additives in the cement production

When evaluating the impact of original walnut shell on the physical and chemical properties of cement, it was established that original walnut shells play the role of a fine additive, which increase the normal density (on 6-19%) and accelerates the hardening time (2.0-2.5 times) as can be seen from Table 6. The increase in normal density takes place due to the fact that more water is needed to form adsorption water shells around fine particles of plant material. The higher the content of the shell, the more water is consumed to obtain a cement of normal density. The acceleration of hardening time takes place also due to the fact that the fine additive acts as a thickener (similar to clay).

Table 6.

The effect of walnut shawls content in the composition of cement on its properties

Walnut shells content, wt. %	Normal density, %	Hardening time, min		Compressive strength, %		Coefficient of water removal, %
		begging	end	at the age of 2 days	at the age of 28 days	
-	24.0	62	140	100	100	4.1
1	24.5	60	130	98	98	4.5
3	27.1	45	90	68	95	6.0
5	28.4	40	75	65	80	6.0

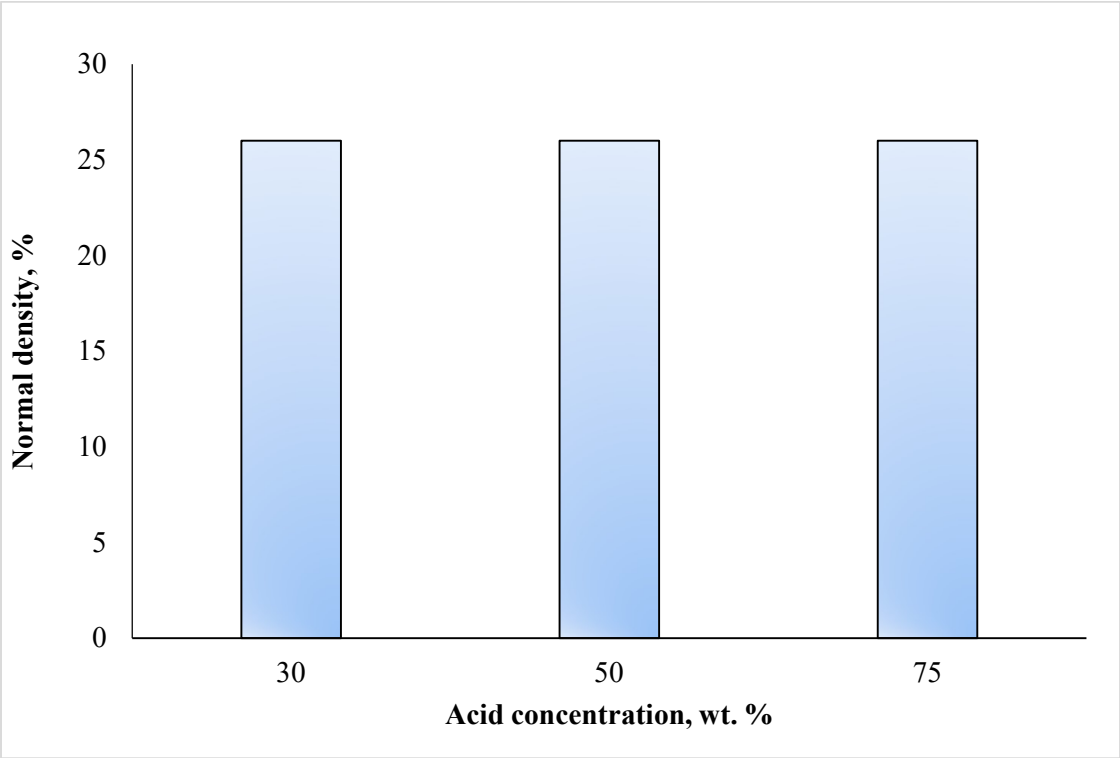
The compressive strength of cement decreases with the increase in walnut shells content but the effect is a minor. That can be explained by the increased normal density of the cement. The coefficient of water removal also increases, but not significantly (from 4% to 6%), and the increase in the content of the shells above 3% doesn't lead to any changes in mentioned values.

The effect of the adding of 1.5% of modified walnut shell on the physical and chemical properties of cement is shown in Fig. 19. The samples of biosorbents obtained during walnut shells modification with acid of different concentration during 120 min, were chosen for further investigations.

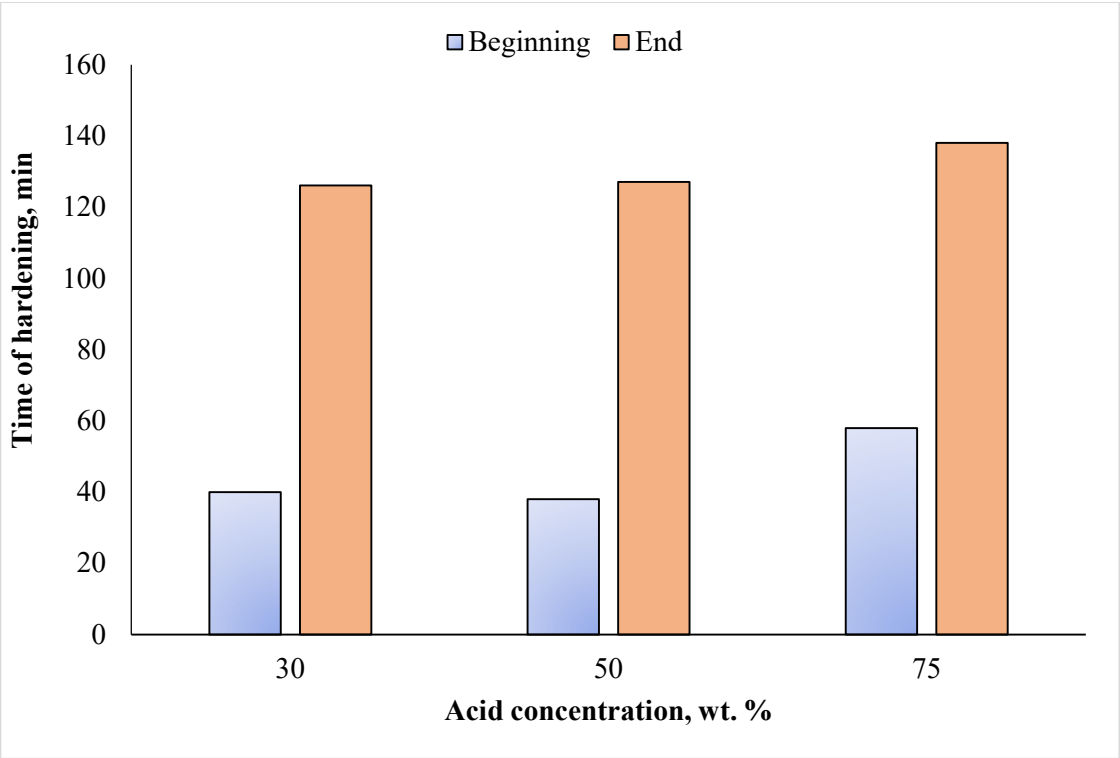
Data in Fig. 19 clearly show that the impact of phosphorylated walnut shells onto normal density is quite insignificant if compared to original material. It is also obvious, that acid modification leads to decrease in the beginning of hardening of cement due to the higher lignin content. Compressive strength increases in all cases due to the fact that lignin shows quite good binding properties. The water removal coefficient of cement changes insignificantly in comparison with initial material.

Thus, taking into account positive effect of adding the phosphorylated shells on the physicochemical properties of the cement, it can be recommended to use them for

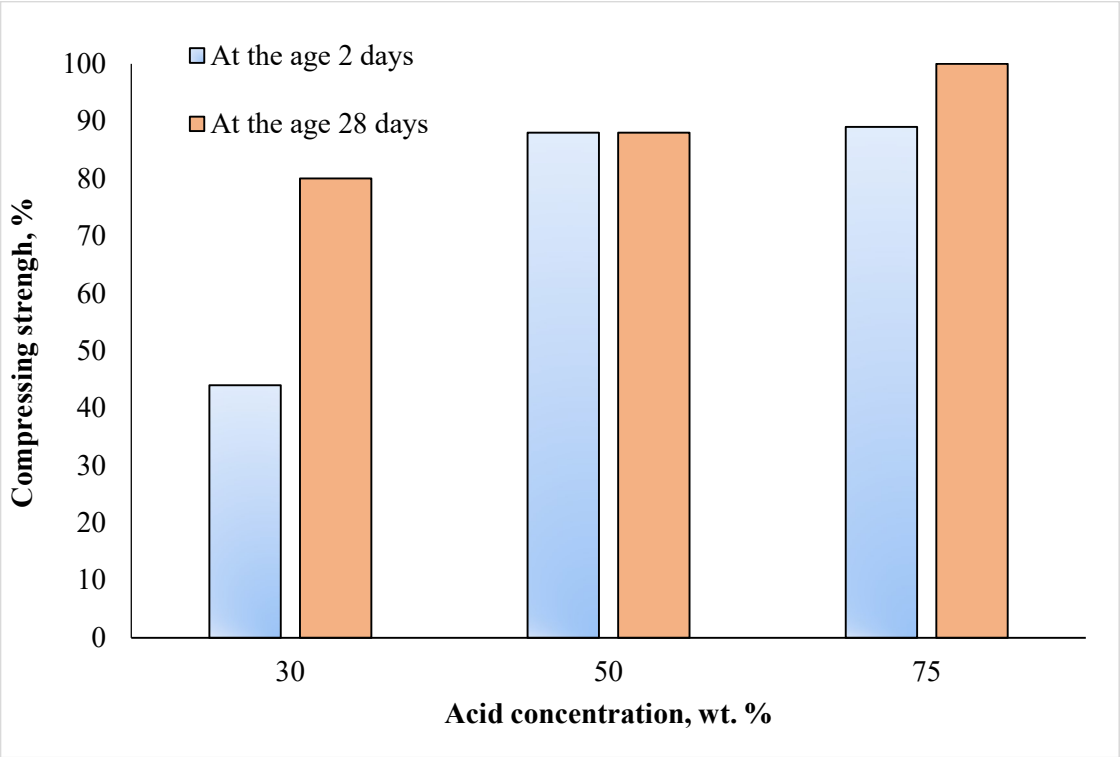
the fact of development of effective method of its utilization through the application in cement production in quantity of 1-3 %.



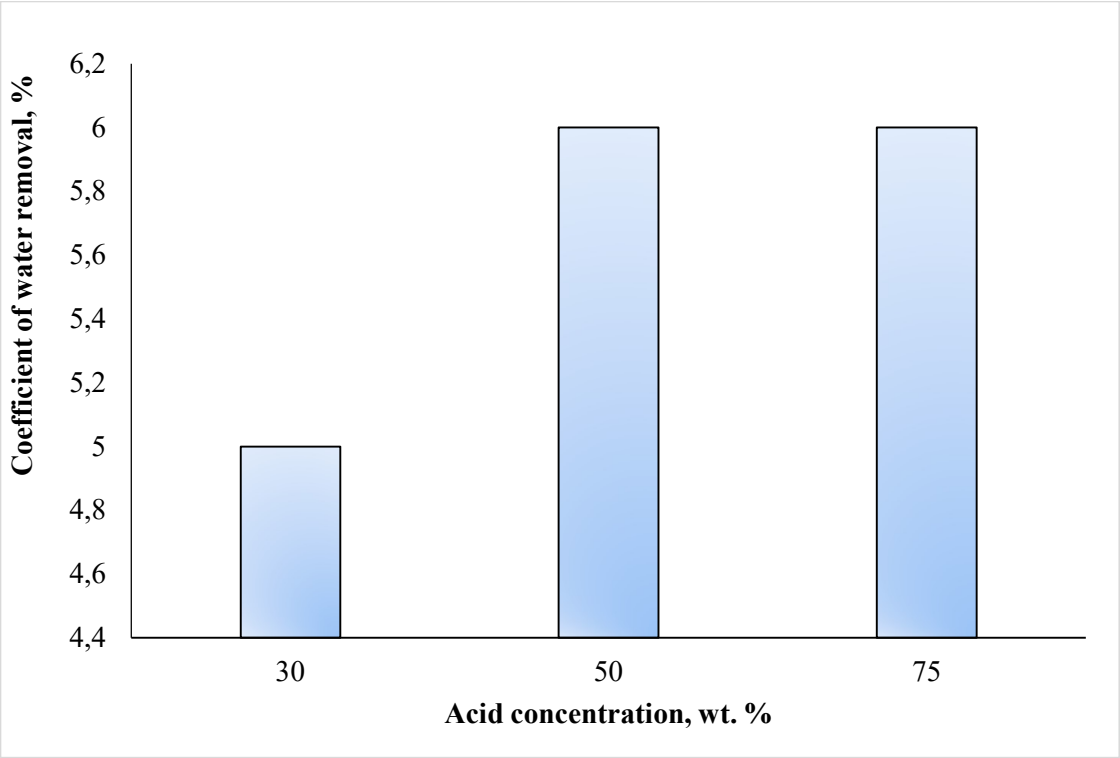
a



b



c



d

Figure 19. Physical and mechanical properties of cement with different content of modified walnut shells 1.5%: a - normal density; b - hardening time; c - compressive strength; d - coefficient of water removal

Conclusions

1. Copper hydroxide, which is formed during the purification of water, was utilized as an additive in cement of I-500 type. The sludge was added into the cement composition and their effect was evaluated according to the vlues of normal density, strength, hardening time, and water removal with respect to the methods for small samples. The precipitates based on hydroxides increase the strength of cement and do not affect water removal ability, so they can be recommended for the use in cements as chemical additives. The economically feasible technology of complex purification of aqueous solutions from copper ions using reagent methods with utilization of the formed precipitates as a part of cement was developed.

2. The possibility of utilization of different biosorbents in the composition of cement was studied. Obtained results show limited ability of the application of original and modified walnut shells in the composition of cement. Original walnut shell acts as a fine additive, which increase the normal density and accelerates the hardening time. The compression strength of the studied samples is slightly decrease. Results have shown that enriched with lignin biosorbent in the composition of cement has a little effect on the physical and mechanical properties. The utilization of cellulosic biosorbents by the use as additives in production of cement cannot be recommended as the physical and mechanical properties were reduced significantly.

3. The efficiency of walnut shells modification with H_3PO_4 at different concentrations was studied. It was find out that sorption properties of obtained materials greatly depend on the parameters modification process. The technological scheme for wastewater treatment from ions of heavy metal with the application of biosorbents and the way of waste biosorbents utilization was proposed. It was also found out that the shells act as a fine additive, that increase the normal density and accelerates the hardening time of cement. The compressive strength of the cement samples with the application of lignocellulosic biosorbents decreases slightly. Result show that inorganic acid, which has been used for modification, leads to increase in biosorbent sorption capacity and has little adverse effect on the hardening time of cement.

DOI 10.46299/ISG.2021.MONO.TECH.II-258-266

2.4 Синтез полупроводниковой пленки с помощью суперионика

Наиболее естественный путь получения окислов металлов, в том числе ванадия – окисление металла кислородом газовой фазы. Течение и результат окисления зависят от времени и кислородного потенциала газовой фазы π [182], который в простейшем случае смеси кислорода с нейтральным газом, взятой при общем давлении I атм., определяется температурой T и парциальным давлением кислорода p

$$\pi = RT \cdot \ln p \ , \qquad (1)$$

где R - универсальная газовая постоянная, T – температура , p – давление кислорода.Совокупность сочетаний p и T, равновесных по отношению к оксидам V_2O_5, V_6O_{13} , VO_2 , можно видеть на фазовой диаграмме

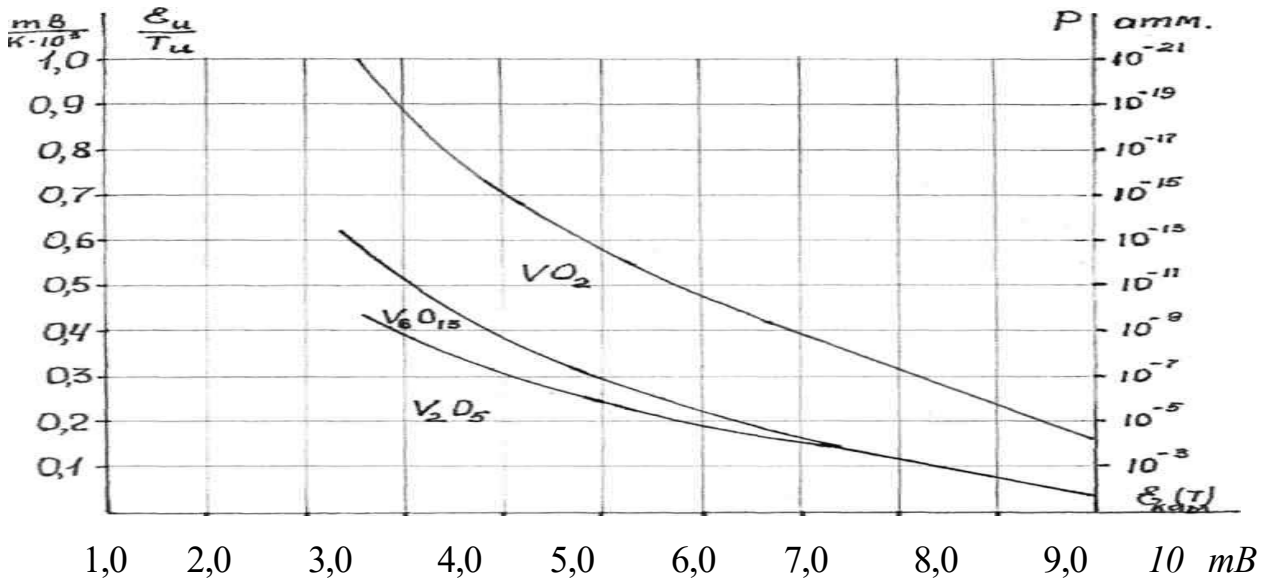


Рис.1. Фазовая диаграмма системы ванадий - кислород

Из нее следует, что сколько бы мы ни выдерживали ванадий при p и T , отвечающих точкам, лежащим выше верхней границы области VO_2 , получим фазу, содержащую кислорода меньше, чем VO_2. Выдерживая ванадий при p и T , отвечающих точкам, лежащим ниже нижней границы области VO_2 , получим V_6O_{13} либо V_2O_5 . Однако фазовая диаграмма отражает только термодинамическую сторону процесса. Важную, иногда определяющую роль играет кинетика окисления. При недостаточно высоких температурах

равновесная степень окисления не достигается, либо достигается за такие большие времена, что окисление целесообразно производить при значениях кислородного потенциала выше равновесного. В последнем случае возникает опасность переокисления образца [183].

Для расширения возможностей исследования и оптимизации технологии окисления необходимы средства непрерывного управления парциальным давлением кислорода в течение процесса. Наилучшим из таких средств является кислородный насос, основанный на использовании транспортных свойств стабилизированной двуокиси циркония, и предназначенный для дозирования кислорода в атмосфере инертного газа .

Принцип действия и основные характеристики такого кислородного насоса заключается в уникальном прикладном свойстве суперионика – проводить через себя исключительно ионы кислорода под воздействием поля постоянного тока и высокой температуры.

Чтобы реализовать исключительные возможности кислородного насоса, необходимо при разработке устройства строго выполнять требования к вакуумной плотности керамики и соединений с магистралью, к технологии электродов и к режимам эксплуатации [184]. Для получения пленок VO_2 путем окисления в регулируемой атмосфере разработана установка, включающая в себя кислородный насос на основе стабилизированной двуокиси циркония. Блок – схема кислородного насоса , сконструированного для установки синтеза пленок VO_2 , показана на рис. 3.

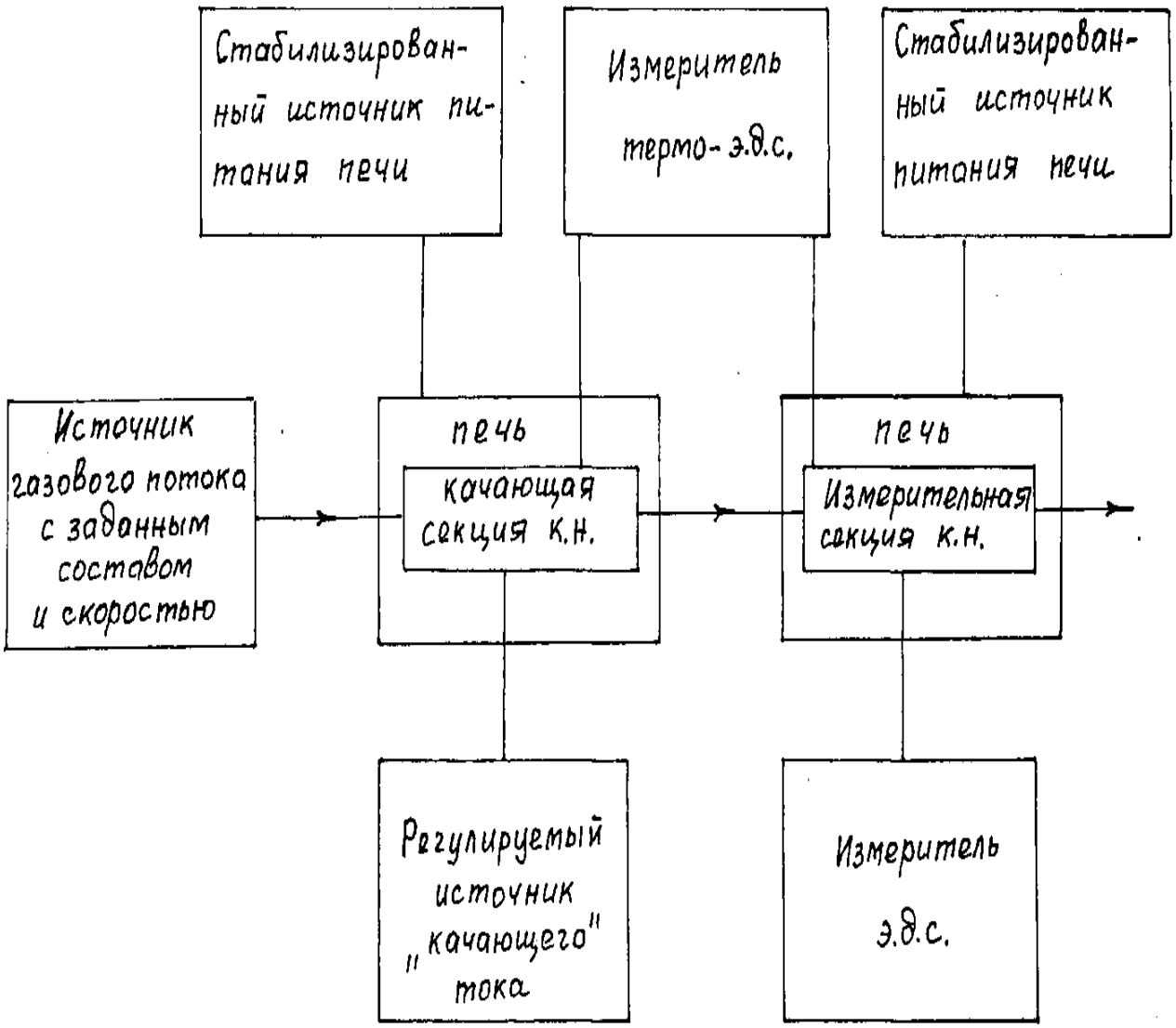


Рис. 3. Блок-схема кислородного насоса

Кроме собственно кислородного насоса в нее входят электрические печи сопротивления со стабилизированными источниками питания, стабилизированный источник качающего тока, схемы измерения температуры и э.д.с. измерительной секции, источник газового потока с заданным составом и скоростью. Источник газового потока включает в себя баллон со сжатым аргоном с известной примесью кислорода $p_0 = 10^{-5}$ атм., игольчатый вентиль для регулирования потока, систему осушки и измеритель скорости.

Кислородный насос подключается к электрическим цепям, как показано на рис.2. Здесь 1- собственно суперионик, 2,3 – наружные и внутренние электроды, 4 – термопара.

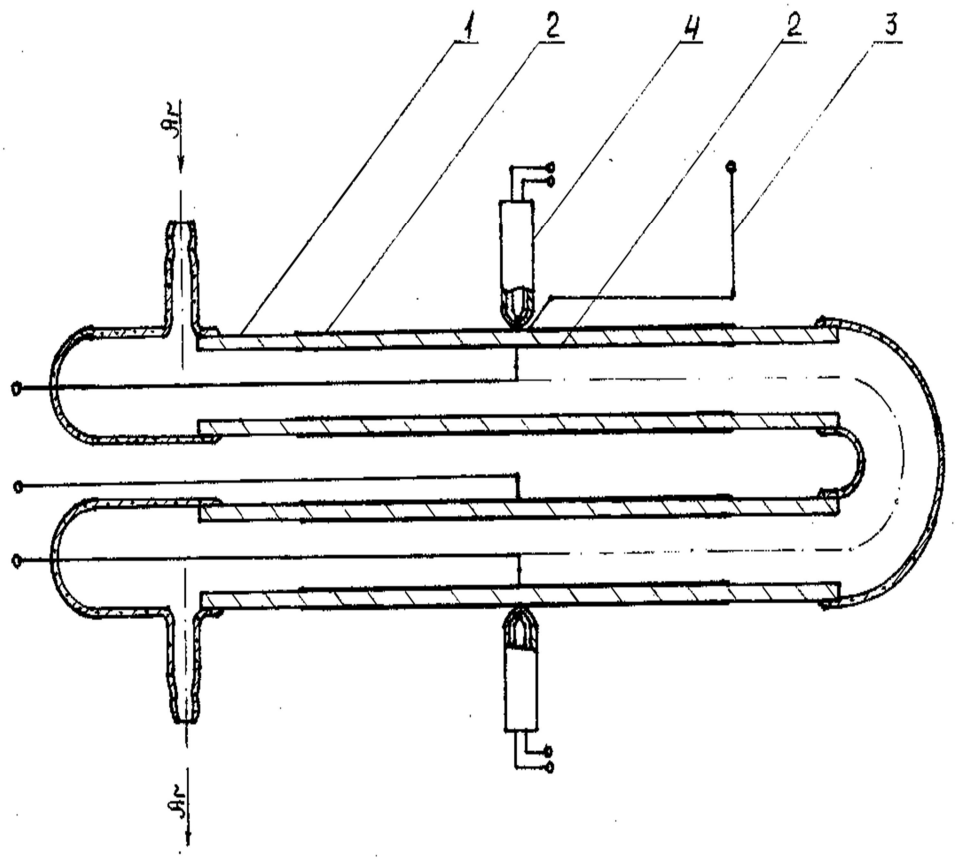


Рис.2. Кислородный насос для дозирования в потоке инертного газа

Качающая и измерительная секции во избежание гальванической связи между ними смонтированы на двух последовательно соединенных трубках I из керамики состава Z_rO_2. + 9 моль. % Y_2O_3 . Длина трубки 240 мм, диаметр 10 мм, толщина стенки I мм. Электроды 2 получены двукратным вжиганием платиновой пасты при 900 °С в течение одного часа. Длины качащей и измерительной секций составляют соответственно 100 и 5 мм. Токоотводы 3 выполнены из платиновой проволоки диаметром 0,5 мм, крипеченной к пастовому покрытию. Платино - платинородиевые термопары 4 смонтированы непосредственно на качающей и измерительной секциях. Кислородный насос подсоединен к технологической камере, в которой производится окисление пленок ванадия [185].. Камера (рис.4) представляет собой трубу из оптического кварца 1 диаметром 60 мм, длиной 600 мм. Труба укреплена вертикально запаянным концом вверх.

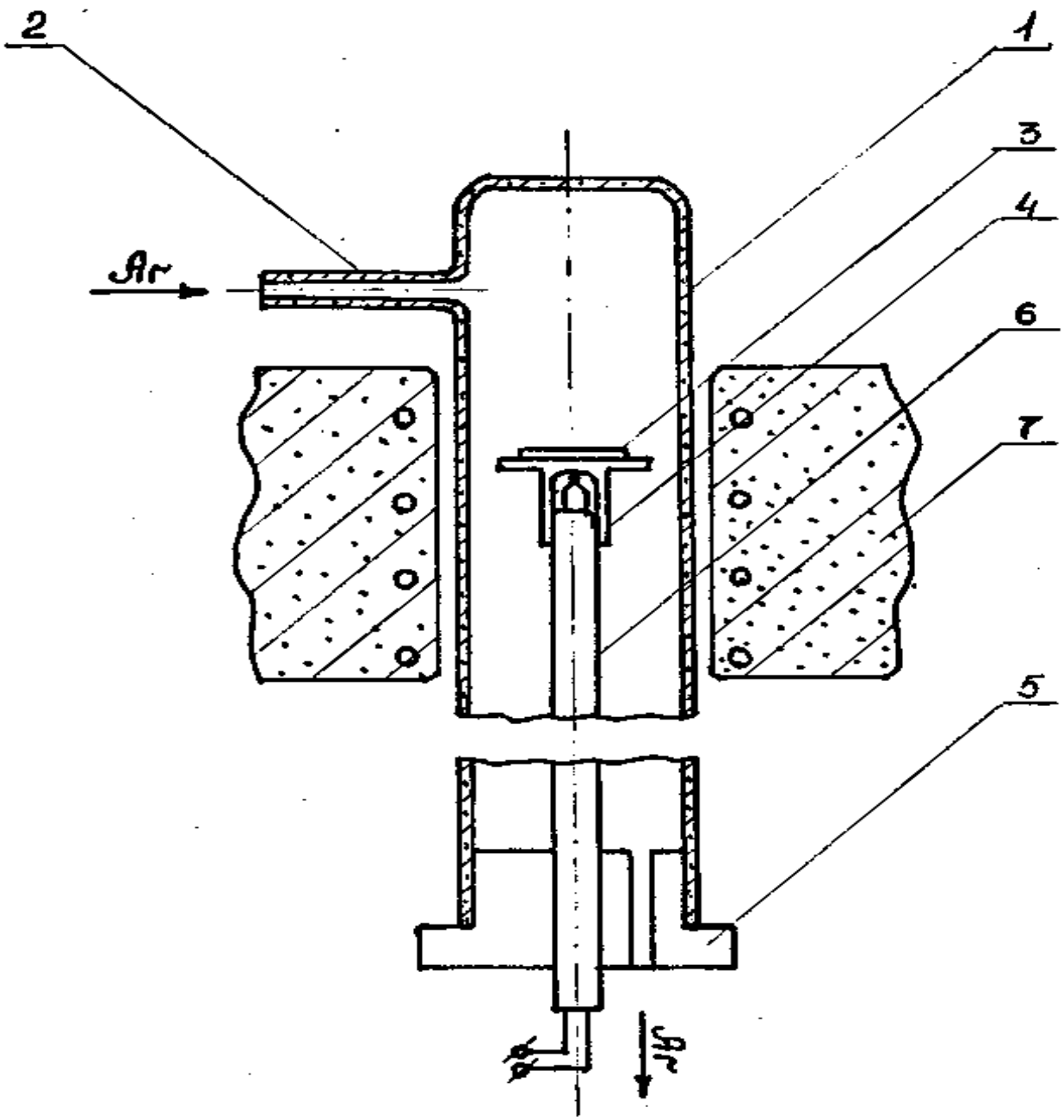


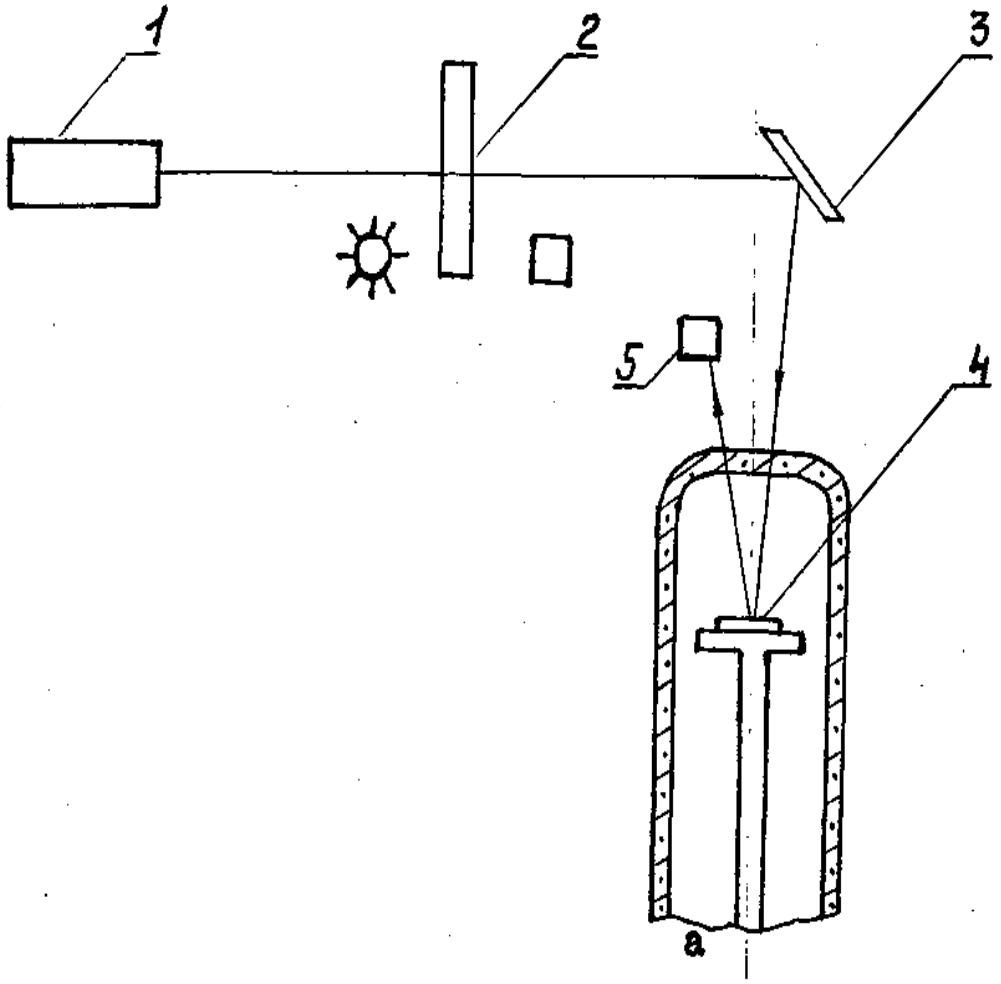
Рис.4. Технологическая камера для окисления пленок ванадия

Газ - аргон с концентрацией кислорода, задаваемой кислородным насосом, поступает в камеру через трубку 2, расположенную в верхней части. Образец 3 в виде пленки ванадия на ситалловой подложке вводится в рабочую зону камеры с помощью держателя 4, укрепленного на съемной пробке 5 с отверстием дяя выхода газа.

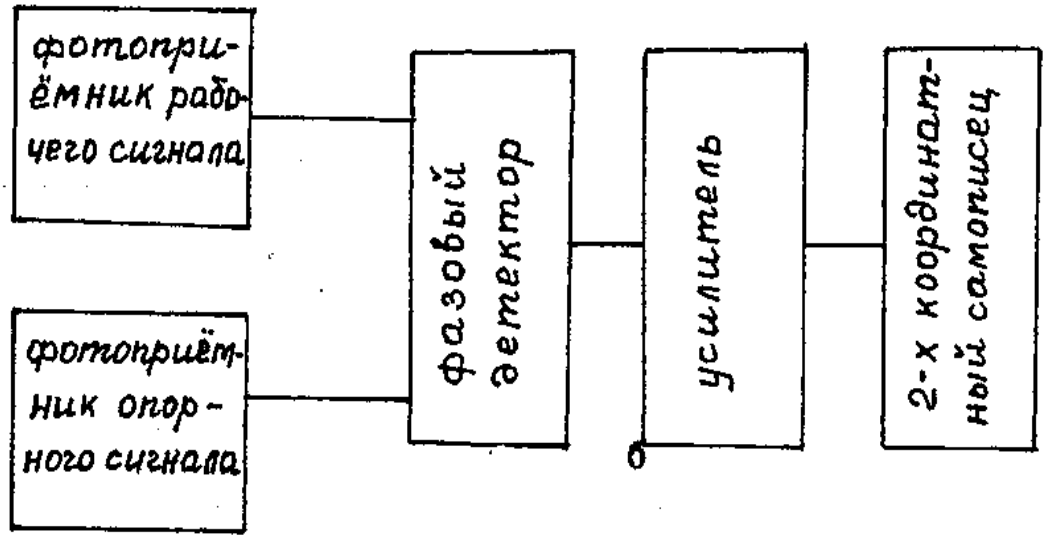
В держателе смонтирована термопара 6 для измерения температуры образца. Электрическая печь сопротивления 7 с регулируемым

стабилизированным источником питания обеспечивает эаданный температурный режим окисления.

В установке предусмотрена возможность непрерывного оптического контроля процесса окисления. Она снабжена лазером ЛГ- 126. Контроль осуществляется на длине волны λ = 0,63 мкм по интенсивности излучения, отраженного от окисляемого образца. В зависимости от текущего значения толщины пленки VO_2 меняются условия интерференции излучения, отраженного от поверхности VO_2 и металла, что позволяет судить о глубине прокисления образца. Принципиальные схемы системы оптического контроля приведены на рис.5.



а) оптическая часть схемы



б) электрическая часть схемы

Рис.5. Принципиальные схемы системы оптического контроля окисления пленок ванадия:

Оптическая часть (рис. 5 а) кроме лазера I включает в себя механический прерыватель 2, зеркало 3, образец 4, фотоприемник рабочего сигнала 5. Электрическая часть (рис. 5б) включает фотоприемники рабочего и опорного сигналов, фазовый детектор, усилитель и двухкоординатный самописец [186]..

Подготовка установки начинается с подключения газового баллона и установления требуемой окорости газового потока. Затем следует включить питание печей кислородного насоса и камеры и поднять температуры до заданных значений, причем во избежание теплового разрушения керамики скорость подьема температуры кислородного насоса не должна превышать 300 град/час [187]. Следует заранее включить приборы системы оптического контроля и питание цепи качающей секции, после чего установить ток качающей секции, обеспечивающий требуемое парциальное давление кислорода на выходе р, связанное с э.д.с. измерительной ячейки формулой

$$p = p' \cdot e^{-\frac{4F\mathcal{E}}{RT}} \quad (2)$$

Образец пленки ванадия поместить на площадке держателя и ввести его в рабочую зону камеры, после чего настроить систему оптического контроля так, чтобы отраженный от образца луч лазера попал на фотоприемник. В процессе окисления ванадия интенсивность отраженного луча изменяется, при этом наблюдается отчетливая интерференционная картина, по которой можно судить о глубине прокисления образца [188] .

Парциальное давление кислорода и температура в рабочей камере подбираются опытным путем с учетом следущих обстоятельств. С одной стороны химический потенциал кислорода μ_{O_2} должен быть достаточно близким к равновесному по отношению к фазе VO_2 (для того, чтобы не образовывались другие окислы). Однако, с другой стороны, в процессе приближения к равновесию сильно замедляется скорость релаксации системы (в данном случае скорость окисления). Фактически для того, чтобы получать пленки VO_2 за разумное время, значение μ_{O_2} должно быть выше равновесного, но не настолько, чтобы получались переокисленные формы. Это условие удалось реализовать при T = 480 - 520°C и $p_{O_2} = 10^{-2} - 10^{-3}$ атм. [189].

Чтобы упростить воспроизведение каждого заданного режима, ордината на фазовой диаграмме рис. I кроме единиц парциального давления кислорода, отградуирована также в единицах отношения / T , которое как следует из формулы (2), однозначно связано с p на выходе кислородного насоса. Еще удобнее выбирать температуру измерительной секции T = 727°C и пользоваться шкалой 10^{-3} В/К, т.е. непосредственно показаниями прибора, измеряющего э.д.с. измерительной секции[190]. Абсцисса на фазовой диаграмме кроме °C проградуирована также в единицах э.д.с. платино-платинородиевой термопары, измеряющей температуру образца. Синтезированная таким образом полупроводниковая пленка диоксида ванадия служит главным образом, как фотохромный материал для записи и хранения оптической информаций, как переключатель, основанный на фазовом переходе металл – полупроводник, как фазовый трансформационный интерференционный реверсивный отражатель света. [191]. Методика получения полупроводниковой

пленки в контролируемой атмосфере с помощью суперионика, требует специальных ограничений к техническим условиям изготовления кислородного насоса. В этом смысле подразумеваются:

- исключительно кислородноионная проводимость суперионика (стабилизированной двуокиси циркония);
- строгая герметичность узловых соединений керамики со стеклом;
- отсутствия натекания молекулярного кислорода из вне

SECTION 3. COMPUTER SCIENCE

DOI 10.46299/ISG.2021.MONO.TECH.II-267-275

3.1 Bim-technologies in modern conditions of the construction industry

Now all countries are in a state of economic crisis, which also affects their internal state. One of the possible ways to solve a number of issues that will improve the internal and external economies, contribute to the prosperity and modernization of countries as a whole, is the development of the construction industry. After all, the construction industry is one of the main industries that make it possible to bring countries out of a crisis during times of economic crisis, due to the fact that the development of construction gives an impetus to the development of many related industries.

Currently, among the advanced countries of Europe, building information modeling technology, BIM technology, is becoming more and more widespread [192]. Prospects for the introduction of 3D modeling have been repeatedly confirmed in world practice with positive results. One of the most impressive and illustrative examples was the construction of skyscrapers, during the creation of the information model of which a lot of technical errors were discovered. Thanks to such opportunities, BIM technologies allow you to save a significant part of the budget, discovering problem areas of buildings at the design stage even before the start of their actual implementation, which is a significant advantage for construction from the economic side, with the widespread introduction of information modeling mechanisms [193].

A significant value of BIM technologies is the fact that the functionality of such modeling allows you to create a database that stores all data related to changes in structures. It is especially worth noting the importance of such an opportunity for buildings and construction elements of historical value. The data obtained can be used to make new important structural, organizational and technological solutions for the reconstruction of building systems [194]. This, in turn, will contribute to the growth of cultural heritage and the strengthening of unity with traditions that are reflected in the architectural and construction heritage of each particular country.

Residential construction remains the main engine of the construction market, which occupies about 70% of all construction work. There are many cases when started construction work for a long period cease its activity in relation to certain construction projects, or even stop for an indefinite period. A significant part of stopping the construction process is a technical error in calculations, or design; imperfect study of the geography of construction; selection of low-quality materials and parts; lack of guarantees from developers, the facility will be completed on time; low quality of construction of objects of this class, as well as the lack of additional functionality of future residential complexes.

BIM technologies can help resolve these issues. They take into account many factors: information about an object and its individual elements, geography, design and other data, including the impact of a given object on the environment. All these data, together with the technical and economic indicators and other characteristics of the object, form an information model in which a change in one parameter leads to an automatic recalculation of all other characteristics of the object.

The process of using BIM technology in building design focuses on the collection and processing of complex characteristics of various areas: economic, architectural, technological, design, and general information about the building. Thus, the building object and everything related to it is considered as a whole [195]. This simplifies the analysis of the impact of construction on the environment, infrastructure, and landscape and provides a comprehensive visualization of the future functionality of the project, which also leads to a simplified construction expertise of the future object.

By using general and complete information about the construction site, the process of finding any problem areas in general in construction will be simplified. Considering the scale of construction not only in the housing sector, but also projects in the field of industrial, civil construction, plans for the creation and reconstruction of roads, airports, seaports, sports and cultural and other facilities, the ability to identify weaknesses by referring to the information model will help save time, human, economic and technical resources.

For the widespread introduction of BIM technologies, it is necessary, first of all, to create information support for construction, covering all stages of the object's life cycle [196]. Also, the recommended innovations for creating the basis for the use of BIM technologies are the following key aspects:

1. Creation of an integrated general design and construction management system using an up-to-date functional information model of the building. This approach to design and construction, the definition of equipment, operation and repair of buildings is a life cycle that includes the integrated processing of all architectural, technological, economic and other information about a building with all its interconnections and dependencies into a single information structure.

2. The use in the work of modern management methods of design and planning in the construction industry, based on network methods, which are widely used in all developed countries of the world.

3. Transition to the permanent use of information for projects in electronic form, namely, a general digital electronic model and its use to fill or change any elements in the future, at each stage of the life cycle. Using such a system for displaying information that would be understandable for all project participants or people involved in the work.

4. The transition to licensed software will always help to keep in touch with all involved persons, timely and promptly resolve emerging issues, collectively make decisions on pressing problems in production, not only to the heads of design organizations, but also to the designers themselves. In addition, it will significantly reduce costs and develop another important industry in our country - information, which, having a demand for market information products, will be modernized.

5. Development of a high-quality software product, as a unified information system for the entire construction industry, which will allow the use of the latest technologies for its future development, and focus on international investments to effectively attract foreign investors.

Also, the systematic implementation of BIM technology in the construction industry can help reduce the cost of building and operating facilities. The use of BIM

for the design, construction and operation of industrial, infrastructural, civil construction projects has become a de facto mandatory practice in developed countries. As international practice shows, the use of BIM technology allows you to optimize construction time by 20%, increase control over costs by 30% or more, and reduce construction costs by 20%, and in some cases up to 33% [197].

BIM technology allows the export of design services between different countries; in the future, the export of these services can grow by 1.5-2 times. And according to the World Economic Forum, a full-scale digitization of the construction industry in less developed countries over the next decade can help the industry avoid years of stagnation and generate about 12-20% of annual savings.

In addition to the construction itself, it is also worth considering another area of the industry - the manufacture of metal structures. Historically, design has been divided into two sections: metal structures and metal detailing structures. The construction of metal structures is carried out on the basis of the design drawings provided to the contractor. Their development is carried out in 2 stages:

- Drawings of metal structures (SM) provide information on the layout of the frame of metal structures, nodes and combinations of elements, alignment of sizes, taking into account the equipment used and the applied technological process;
- Structural steel drawings (SMD) are a description of all parts and elements of the future structure, materials and methods of their manufacture and a plan for further installation.

Such a division is determined by the sequence of organizing the design and production of structures, when the drawings are approved, are carried out by design organizations, and working drawings of steel structures, as a rule, are developed by the design bureaus of metal structures manufacturers. The use of BIM technologies will allow you to model and design objects of any complexity, without dividing the process into SM and SMD. However, the regulatory requirements obliging to undergo the examination of drawings of metal structures force specialists working with the use of BIM to create a set of SM drawings only for the purpose of completing formalities and passing the examination. Full-fledged information models of buildings are created

longer than conventional KM and SMD drawings, but they allow you to get all the project documentation for the object. If we talk only about metal structures, then 3D models significantly minimize the time for the development of metal structures and steel structures, as well as making changes to them. The high geometric accuracy of structures obtained using BIM technology and the ability to transfer data to systems of production equipment will significantly increase the manufacturability of production and reduce installation time, as well as open up the possibility of implementing complex architectural forms [195]. Of course, this approach puts forward serious requirements for the production and level of organization of construction. It can be expected that in the near future the conditions of a free competitive environment and convergence with a more developed EU market will gradually lead all countries to the inevitable re-equipment of fixed assets and create favorable conditions for the massive introduction of BIM technology. Primarily,

Thanks to the introduction of BIM technology, the construction industries will receive most of the benefits and prospects for further development [198]. Using BIM in perspective, you can get the following results:

- All elements of the building engineering systems project can be modeled more accurately and costs can be calculated more realistically. Due to the fact that the BIM model includes a complete 3D model of all structures and engineering systems of the building, developers will be able to objectively evaluate on the basis of an estimate of the volume of work with an ordinal breakdown of prices. Thus, the total cost in the application will reflect the actual costs of building materials, and not a rough estimate.
- Fast simulation will allow you to analyze and optimize engineering systems at the design stage before installation.
- It will be possible to quickly and clearly visualize the BIM model, which can be used for more effective negotiations between the project participants. Effective communication is an important aspect of a successful construction project - one of the most challenging tasks. When using BIM technology, such important concepts as: deadlines, schedules, availability of materials and the necessary specialists can be coordinated with all project participants in real time using digital applications or mobile

devices. When all project participants work with a single up-to-date digital BIM model, this will avoid data loss or distortion during information exchange, facilitate control over the construction process and reduce the likelihood of errors.

- The BIM model can be used to transfer design information to the construction site. With BIM technology, developers will be able to plan for maintenance, which will help reduce unplanned downtime and carefully plan maintenance cycles. This will ensure higher accuracy in the preparation of the cost estimate for the operation of the facility. Also, an accurate BIM model of the building will allow you to collect feedback and wishes from future users of the building, using visualization or even a virtual walk around the future object. The thoughts of future users, taken into account during the design phase, will help create more comfortable and functional buildings.
- It will be possible to store all information in the model: from the moment of concept development to the completion of construction and further - throughout the entire life cycle of the building.
- A more accurate assessment of materials and equipment will take place. Each house contains a wide variety of equipment. The introduction of technical characteristics provided by equipment manufacturers into the BIM system at the early design stages will allow an analysis of the operation of future engineering systems, if necessary, to finalize them. The efficiency of the engineering systems will provide additional benefits after completion of construction during the operational phase.
- Implementation of preventive maintenance and accounting of engineering systems equipment at the stage of building operation will be implemented. When viewing the system equipment in the BIM model, the owner will be able to see the installation date, which performed the installation, what maintenance was carried out and the warranty period. The ability to obtain comprehensive data on equipment and building components will facilitate more meaningful collaboration between developer and contractors, owner and maintenance companies and other partners.

- There will be a reduction in the overall level of project risk due to proven, accurate and optimized design solutions for engineering systems. The use of a BIM model for maintenance and operations is gaining more and more attention from building owners as it can reduce costs in the long term. When looking at a building throughout its life cycle (in the sense that only 1% of all costs during the life cycle of a building are spent on its design, while 70% is spent on its maintenance), BIM has great potential. A slight increase in costs during the design phase can reduce future maintenance costs, which represent a large portion of a building's overall costs.
- Shorter construction times and lower construction costs are expected as a result of fewer installation errors and less material consumption. By developing software, you can quickly create and quickly test various solutions for the fastest possible elimination of failures. In the world of traditional construction, developers must make sure that the first version of the building is already very successful, since the second version means expensive renovation. BIM technology will help to avoid massive on-site edits, due to which the amount of costs gradually spirals out of control. BIM technology will allow you to analyze, test, make changes and analyze the building design again, bringing it to perfection in order to get the highest quality and functional model before the start of construction work.
- Improving the quality and efficiency of buildings will help reduce the negative impact on the environment. Today, developers pay special attention to environmental standards and environmental pollution. Calculating volumes based on a 3D BIM model instead of 2D drawings will give much more accurate results. This will help architects and contractors avoid mistakes when determining the amount of building materials needed. The more accurate this estimate, the closer the preliminary estimate will be to the final version. In addition, a significant reduction in waste can be achieved in this way. An accurate calculation has a direct impact on the amount of energy, resources and transportation time required to obtain building materials, resulting in a significant reduction in carbon emissions. Environmental performance tools allow you to analyze the life cycle of a building and calculate the impact of

different buildings on the environment. They will also help reduce harmful emissions by choosing other materials or production methods [199].

- Thanks to advances in BIM, prefabricated and modular designs are gaining popularity again. For the construction market, this means the possibility of precise and detailed design of building components, that is, an increasing number of components can be manufactured outside the construction site. The use of modular and prefabricated structures can shorten construction project lead times and increase efficiency, since prefabricated components can be manufactured in optimal factory conditions and construction companies do not have to deal with constraints such as bad weather or short daylight hours.

Depending on the needs of the customer, the building project can be presented by abstract volumetric models to approximate parameters or specific collections with a detailed study of all actual shapes, sizes, spatial position, orientation and a description of all accompanying attributes. This is enough for the practical operation of the project in a 6D model where the integration of four components takes place: the object itself (3D), the graphics or plan (4D), the cost (5D) and information about the operation, maintenance and environment (6D). It has also recently begun testing another dimension - Lifetime Asset Management (7D).

BIM technology covers more than just the geometric representation of building objects. It takes into account many factors, such as: spatial relationships, lighting analysis, geographic information, and the number and properties of building components, necessary and very important opportunities for the development of the construction industry. Although BIM is now a relatively new technology in most countries, it is usually slow to adapt to change. However, many European countries have adopted laws on its implementation at the state level.

It is worth noting that in order to achieve global goals, it is necessary to establish international BIM standards, stimulate the introduction of technology in the construction industry, assess the importance of training and use this technology, and also carry out technological adaptation of the process. In addition, do not forget that the further development of the construction market largely depends on the general

economic and political situation, the government's strategy to minimize the consequences of quarantine for the life of countries.

It should be understood that the transition to BIM is a change in technology and organization of the design process, and not just the use of a set of software systems. Therefore, for the active use of BIM technologies, it is necessary, first of all, to change the psychology of customers and designers of construction projects in accordance with the best international practices.

DOI 10.46299/ISG.2021.MONO.TECH.II-276-291

3.2 Thermal regime control of thermoelectric cooling devices when minimizing a complex of four basic parameters

Thermoelectric systems for ensuring the thermal conditions of heat-loaded electronic components are the main ones in conditions of the need to meet stringent requirements for weight, dimensions, reliability, and dynamic characteristics. The control of the thermal regime of a thermoelectric cooling device (TEC) in several cases is determined by a set of four main parameters $(nI\lambda/\lambda_0\tau)$. The choice of the TEC design is the choice of the geometry of the thermoelement legs (ratio l/S), their number n, the value of the operating current I in conjunction with the reliability indicators λ/λ_0 and the dynamics of functioning τ. With a rational design of the TEC, one should strive to reduce the number of thermoelements n the value of the operating current I, the relative failure rate λ/λ_0 and the time to enter the stationary mode of operation τ.

These basic parameters are interconnected, despite their inconsistency. So, with a constant heat load Q_0 and a fixed geometry of thermoelement legs (ratio l/S):

− a decrease in the number of thermoelements n can be compensated by an increase in the relative operating current B. At the same time, the failure rate λ/λ_0 changes and the time to reach the stationary operating mode decreases τ;

− an increase in the number of thermoelements n can be compensated for by a decrease in the value of the relative operating current B. In this case, the intensity of failures λ/λ_0 changes and the time τ to reach the stationary mode of operation increases.

The relative rate λ/λ_0 depends on the numbers of thermocouples n and the relative operating current B at s fixed temperature drop ΔT.

The time to reach the stationary mode τ of operation depends on the value of the relative operating current B, mass and heat capacity of structural and technological elements (CHP) on the heat-absorbing junction of the TPU at a fixed temperature drop

ΔT . Thus, there is an optimal value of the relative operating current B_{opt} corresponding to the minimum value of the complex $(nI\lambda/\lambda_0\tau)_{\min}$, which is the subject of this work.

The number of thermoelements n of a single-stage TEC can be determined from the ratio:

$$n = \frac{Q_0}{I_{\max K}^2 R_K \left(2B_K - B_K^2 - \Theta\right)}, \tag{1}$$

where Q_0 – heat load value, W;

$I_{\max K} = \frac{\bar{e}_K T_0}{R_K}$ – maximum operating current, A.

$\bar{e}_K$ – average value of thermoEFM coefficient of thermoelement leg at the end of the cooling process, V/K;

$R_K = \frac{l}{\bar{\sigma} S}$ – electrical resistance of the thermoelement branch, Ohm;

l and S – respectively, the height l and the cross-sectional area S of the thermoelement leg;

$\bar{\sigma}$ – average value of thermoelement branch electrical conductivity, S/cm;

T_0 – heat-absorbing junction temperature, K;

$B_K = \frac{I}{I_{\max K}}$ – relative operating current at the end of the cooling process;

$\Theta = \frac{T - T_0}{\Delta T_{\max}}$ – relative temperature difference;

T – heat-generating junction temperature, K;

$\Delta T_{\max} = 0{,}5\bar{z}T_0^2$ – maximum temperature drop, K;

$\bar{z}$ – average value of the efficiency of the initial thermoelectric materials in the module, 1 / K.

The power consumption W_K of the TEC can be determined from the expression:

$$W_K = 2n \cdot I_{\max K}^2 \cdot R_K \cdot B_K (B_K + \frac{\Delta T_{\max}}{T_0}\Theta). \tag{2}$$

Voltage drop U_{K}

$$U_{\mathrm{K}} = \frac{W_{\mathrm{K}}}{I}. \tag{3}$$

The coefficient of performance E can be calculated from the expression:

$$E = \frac{Q_0}{W_{\mathrm{K}}} \tag{4}$$

The relative magnitude of the failure rate λ/λ_0 can be determined from the expression [200]:

$$\lambda/\lambda_0 = nB_{\mathrm{K}}^2(\Theta + C)\frac{(B_{\mathrm{K}} + \frac{\Delta T_{\max}}{T_0}\Theta)^2}{(1 + \frac{\Delta T_{\max}}{T_0}\Theta)^2} \cdot K_{\mathrm{T}}, \tag{5}$$

where $C = \dfrac{Q_0}{nI_{\max\mathrm{K}}^2 R_{\mathrm{K}}}$ – relative heat load,

K_{T} – significant coefficient of reduced temperatures [200].

The probability of failure-free operation P of the TEC can be determined from the expression:

$$P = \exp\left[-\lambda t\right], \tag{6}$$

where t – assigned resource, h.

The ratio for determining the time of reaching the stationary mode of operation τ can be represented as [201]:

$$\tau = \frac{m_0 C_0 + n\sum_i m_i C_i}{nK_L\left(1 + 2B_{\mathrm{K}}\frac{\Delta T_{\max}}{T_0}\right)} \ln\frac{\gamma B_{\mathrm{H}}\left(2 - B_{\mathrm{H}}\right)}{2B_{\mathrm{K}} - B_{\mathrm{K}}^2 - \Theta}, \tag{7}$$

where $\gamma = \dfrac{I_{\max\mathrm{H}}^2 R_{\mathrm{H}}}{I_{\max\mathrm{K}}^2 R_{\mathrm{K}}}$;

$m_0 C_0$ – mass and heat capacity of the object to be cooled. In our case $m_0 C_0 \to 0$ (there is no cooling object).

$\sum_i m_i C_i$ – the total value of the product of the heat capacity and the mass of the constituent structural and technological elements (CHP) on the heat-absorbing junction of the module at a given l/S;

R_{H} – electrical resistance of the thermoelement leg at the beginning of the cooling process, Ohm;

$B_{\text{H}} = \dfrac{I}{I_{\text{maxH}}}$ – relative operating current at the beginning of the cooling process, $\tau = 0$;

$I_{\text{maxH}} = \dfrac{\bar{e}_{\text{H}} \cdot T}{R_{\text{H}}}$ – maximum operating current at the beginning of the cooling process, A.

Provided that the currents are equal at the beginning and at the end of the cooling process:

$I = B_{\text{K}} I_{\text{maxK}} = B_{\text{H}} I_{\text{maxH}}$.

Then the expression for the complex $(nI\lambda/\lambda_0\tau)$ can be written in the form:

$$K = nI\lambda/\lambda_0\tau = \frac{Q_0^2 B_{\text{K}}^3 (\Theta + C)(B_{\text{K}} + \frac{\Delta T_{\max}}{T_0}\Theta)^2 K_{\text{T}} \sum_i m_i C_i \ln \frac{\gamma B_{\text{H}}(2 - B_{\text{H}})}{2B_{\text{K}} - B_{\text{K}}^2 - \Theta}}{I_{\max_{\text{K}}}^3 R_{\text{K}}^2 (2B - B^2 - \Theta)^2 (1 + \frac{\Delta T_{\max}}{T_0}\Theta)^2 K_L \left(1 + 2B_{\text{K}} \frac{\Delta T_{\max}}{T_0}\right)},$$

(8)

where $K_L = \dfrac{\kappa \cdot S}{l}$, $\kappa -$ average value of the thermal conductivity coefficient, $\dfrac{\text{W}}{\text{cm}\cdot\text{K}}$, or in the form convenient for differentiation:

$$A = \frac{K I_{\max_{\text{K}}}^3 R_{\text{K}}^2 (1 + \frac{\Delta T_{\max}}{T_0}\Theta)^2 K_L}{Q_0^2 (\Theta + C) K_{\text{T}} \sum_i m_i C_i} = \frac{B^3 (B_{\text{K}} + \frac{\Delta T_{\max}}{T_0}\Theta)^2 \cdot \ln \frac{\gamma B_{\text{H}}(2 - B_{\text{H}})}{2B_{\text{K}} - B_{\text{K}}^2 - \Theta}}{(2B_{\text{K}} - B_{\text{K}}^2 - \Theta)^2 \left(1 + 2B_{\text{K}} \frac{\Delta T_{\max}}{T_0}\right)}.$$

(9)

From the condition $\frac{dA}{dB} = 0$, by means of simple transformations using the methods of successive approximations with an error of no more than 1%, we obtain the ratio for determining the optimal value of the relative operating current $B_{opt\,K}$ corresponding to the minimum value of the complex $(nI\lambda/\lambda_0\tau)_{\min}$:

$$B_{optK} = \frac{\Theta}{2+\frac{T_{max}}{T_0}\Theta}\left[1 + \frac{\Delta T_{max}}{T_0}\left(2 + \frac{\Delta T_{max}}{T_0}\Theta\right)\right] \qquad (10),$$

which corresponds to the regime $E_{\max}$.

The results of calculating the functional $A = f(B_K)$ dependence for various temperature drops Θ, depending on the relative operating current B_K, are presented in Fig. 1.

The functional dependence $A = f(B)$ (Fig. 1) has a minimum for various temperature drops Θ at $T = 300\text{K}$; $Q_0 = 0{,}5\ W$; $l/S = 4{,}5$. So, for example, when $\Theta = 0{,}5$ the value $A = 0{,}764$ at $B_{opt} = 0{,}55$.

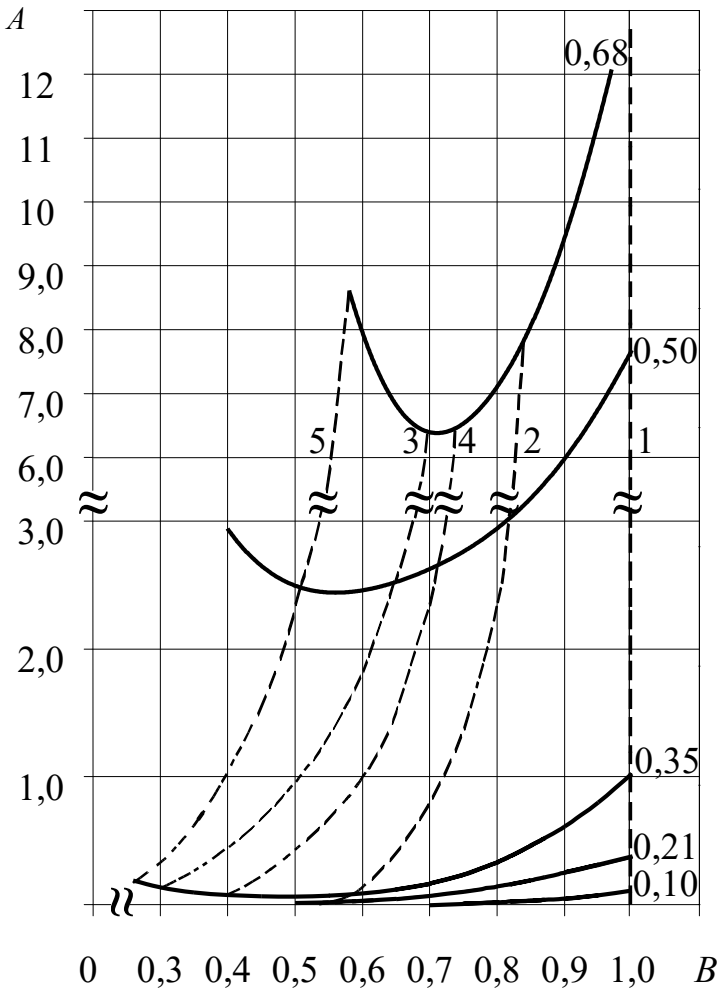


Fig. 1. Dependence of the value A of a single-stage TEC on the relative operating current B for various relative temperature drops Θ for T = 300K, Θ = 0.5W, l/S = 4.5. 1 – mode $Q_{0\max}$; 2 – mode $(nI)_{\min}$; 3 – mode $(nI\lambda/\lambda_0)_{\min}$; 4 – mode $(nI\lambda/\lambda_0\tau)_{\min}$; 5 – mode $\lambda_{\min}$.

The dotted line indicated the locus of the point corresponding to different current operating modes: 1 – mode $Q_{0\max}$, 2 – mode $(nI)_{\min}$, 3 – mode $(nI\lambda/\lambda_0)_{\min}$, 4 – mode $(nI\lambda/\lambda_0\tau)_{\min}$, 5 – mode $\lambda_{\min}$.

Figure 2 shows the dependence of the optimal relative operating current B_{opt} for various complexes $(nI)_{\min}$, $(nI\lambda/\lambda_0)_{\min}$, and $(nI\lambda/\lambda_0\tau)_{\min}$ on the relative temperature difference Θ.

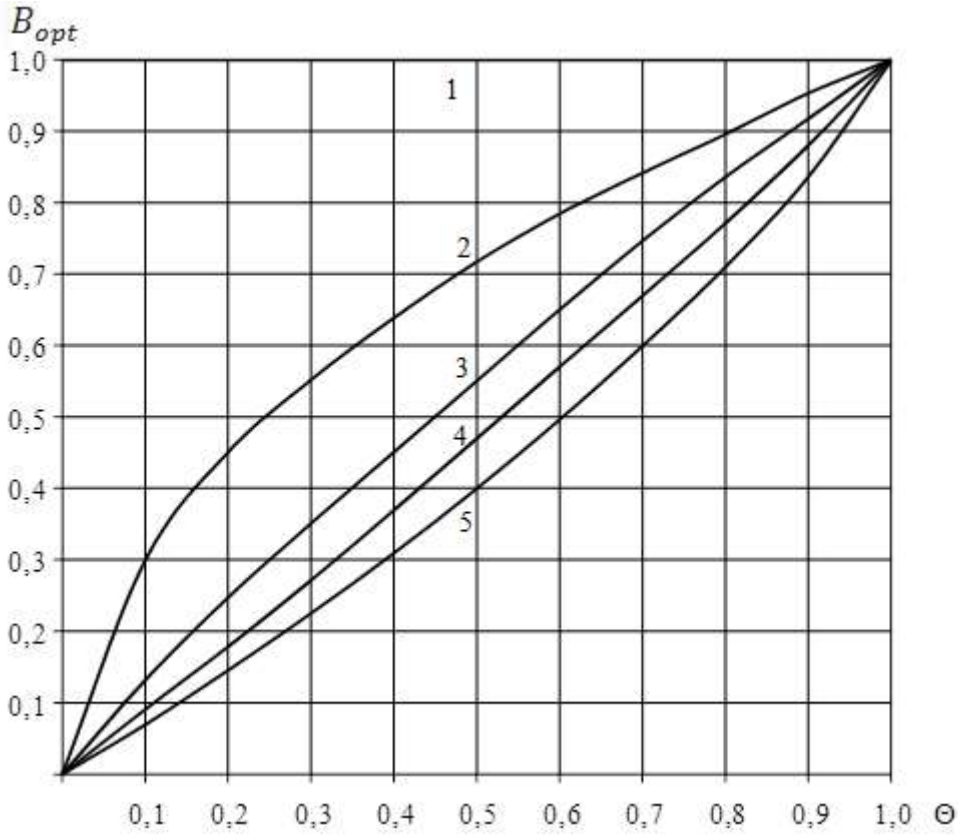


Fig. 2. Dependence of the optimal relative operating current $B_{опт}$ of a single-stage TEC on the relative temperature drop Θ for different operating modes at $T = 300K, l/s = 4{,}5, Q_0 = 0{,}5W$. 1 – mode $Q_{0\max}$; 2 – mode $(nI)_{\min}$; 3 – mode $(nI\lambda/\lambda_0\tau)_{\min}$; 4 – mode $(nI\lambda/\lambda_0)_{\min}$; 5 – mode $\lambda_{\min}$.

The results of calculations of the main parameters, reliability indicators and the time to reach the stationary mode of operation of single-stage TEC at $\Delta T = 40\text{K}$; $Q_0 = 0{,}5W$; and different geometry of thermoelement legs; 10; 20; 40 and various complexes $l/S = 4{,}5$; 10; 20; 40 are shown in Table 1.

Table 1

The results of calculations of the main parameters, reliability indicators and the time to reach the stationary mode of operation of single-stage TEC at $\Delta T = 40\text{K}$; $Q_0 = 0{,}5W$ $l/S = 4{,}5$; 10; 20; 40; T = 300K; $\Delta T_{\max}$ = 79,8K; Θ= 0,5; Q_0 = 0,5W.

l/S	Operation mode	B	$R\cdot10^3$ Ohm	$I_{\max}$, A	n, pc.	W, W	U, B	E	I A	nI	$nI\lambda/\lambda_0$	$(nI\lambda/\lambda_0\tau)_{\min}$	τ, s	N, W·s	λ/λ_0	$\lambda\cdot10^8$ 1/h	P
4,5	$Q_{0\max}$	1,0	4,55	11,1	1,8	2,3	0,21	0,22	11,1	20	32,0	250	7,8	17,9	1,6	4,8	0,99953
	$(nI)_{\min}$	0,71			2,3	1,46	0,19	0,34	8,0	18,4	8,1	74,5	9,2	13,4	0,44	1,53	0,99985
	$(nI\lambda/\lambda_0\tau)_{\min}$	0,53			3,2	1,30	0,22	0,38	5,9	18,9	4,9	58,4	11,9	15,5	0,26	0,77	0,999923
	$(nI\lambda/\lambda_0)_{\min}$	0,47			4,1	1,35	0,26	0,37	5,2	21,3	4,11	57,1	13,9	18,8	0,193	0,58	0,999943
	$\lambda_{\min}$	0,40			6,6	1,62	0,34	0,31	4,8	31,7	4,9	78,0	16,0	25,9	0,154	0,462	0,999954
10	$Q_{0\max}$	1,0	10,1	5,02	3,9	2,30	0,46	0,22	5,02	19,6	78,3	50,2	6,4	14,7	4,0	12,0	0,99880
	$(nI)_{\min}$	0,71			4,7	1,46	0,41	0,34	3,6	16,9	20,8	160,0	7,7	11,2	1,23	3,7	0,99963
	$(nI\lambda/\lambda_0\tau)_{\min}$	0,53			7,0	1,30	0,49	0,38	2,67	18,7	10,5	107,1	10,2	13,3	0,56	1,68	0,99983
	$(nI\lambda/\lambda_0)_{\min}$	0,47			9,0	1,34	0,57	0,37	2,36	21,2	8,9	107,0	12,0	16,1	0,42	1,27	0,99987
	$\lambda_{\min}$	0,40			12,0	1,62	0,81	0,31	2,0	24,0	8,6	121,0	14,0	22,7	0,36	1,1	0,99990
20	$Q_{0\max}$	1,0	20,2	2,51	7,9	2,32	0,92	0,22	2,51	19,8	123	738	6,0	13,9	6,2	18,5	0,9982
	$(nI)_{\min}$	0,71			10,3	1,46	0,81	0,34	1,8	18,5	37,1	274,4	7,4	10,8	2,0	6,0	0,99941
	$(nI\lambda/\lambda_0\tau)_{\min}$	0,53			14,0	1,30	0,97	0,38	1,34	18,8	21,0	210,0	10,0	13,0	1,12	3,35	0,99967
	$(nI\lambda/\lambda_0)_{\min}$	0,47			17,9	1,33	1,18	0,37	1,18	21,1	17,8	208,6	11,7	15,6	0,845	2,53	0,99975
	$\lambda_{\min}$	0,40			29,3	1,62	1,61	0,31	1,0	29,3	19,6	261,1	13,3	21,5	0,67	2,0	0,99980
40	$Q_{0\max}$	1,0	40,4	1,255	16,0	2,3	1,84	0,22	1,25	20,0	244	1269	5,2	12,0	12,2	36,7	0,9963
	$(nI)_{\min}$	0,71			20,8	1,46	1,65	0,34	0,89	18,7	74,8	471	6,3	9,2	4,0	12,0	0,9985
	$(nI\lambda/\lambda_0\tau)_{\min}$	0,53			28,0	1,30	1,94	0,38	0,67	18,8	42	420	8,4	10,9	2,24	6,7	0,99933
	$(nI\lambda/\lambda_0)_{\min}$	0,47			35,9	1,33	2,26	0,37	0,59	21,2	35,8	376	9,5	12,6	1,69	5,1	0,99949
	$\lambda_{\min}$	0,40			59,6	1,62	3,10	0,31	0,53	31,6	42,3	474	11,2	18,1	1,34	4,0	0,99960

With an increase in the relative operating current at a temperature drop and heat load $Q_0 = 0{,}5\ W$ for different geometry of thermoelement legs (ratio $l/S = 4{,}5$; 10; 20; 40):

– the number of thermoelements decreases n (Fig. 3). With an increase in the ratio l/S, the number of thermoelements n increases at a fixed relative operating current B;

– the value of the operating current I increases (Fig. 3). With an increase in the ratio l/S, the value of the operating current decreases B;

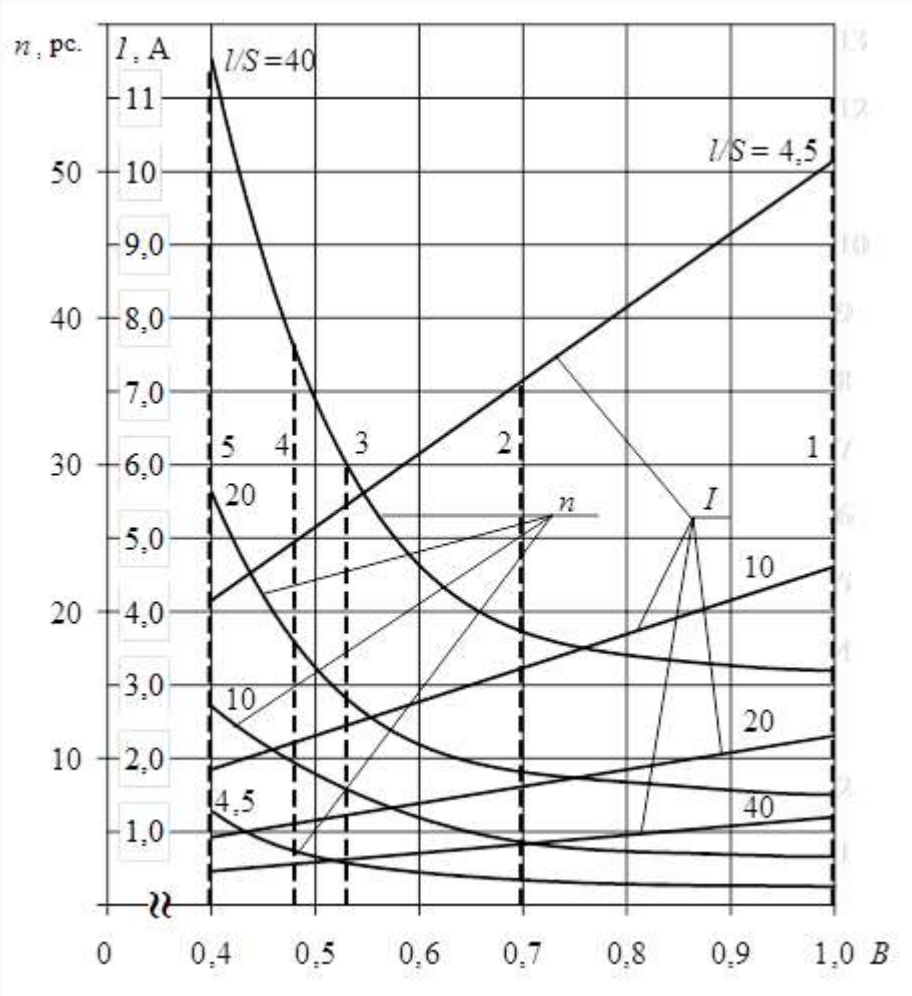


Fig. 3. Dependence of the number of thermoelements n and the value *I* of the operating current I of a single-stage TEC on the relative operating current B for different geometry of the thermoelement legs l/S at $T = 300K, \Delta T = 40K, Q_0 = 0{,}5\ W$. 1 – mode $Q_{0\max}$; 2 – mode $(nI)_{\min}$; 3 – mode $(nI\lambda/\lambda_0\tau)_{\min}$; 4 – mode $(nI\lambda/\lambda_0)_{\min}$; 5 – mode $\lambda_{\min}$.

− functional dependence of the complex $(nI\lambda/\lambda_0\tau) = f(B)$ has a minimum at $B = 0{,}53$ (Fig. 4) for different geometry of thermoelement legs (ratio $l/S = 4{,}5$; 10; 20; 40). With an increase in the ratio l/S, the value of the complex $(nI\lambda/\lambda_0\tau)$ increases at a fixed relative operating current B;

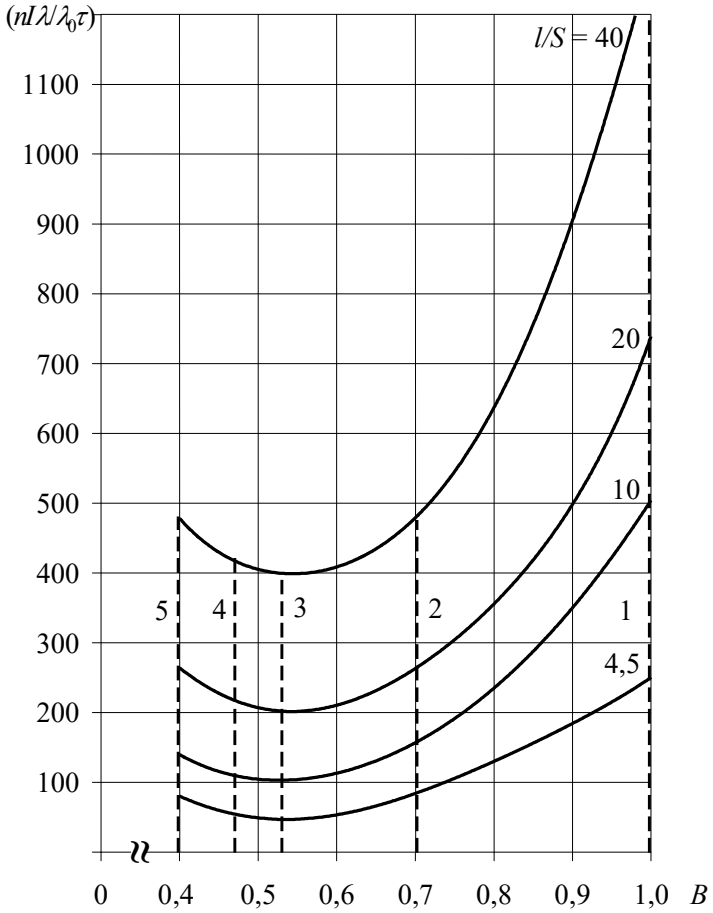


Fig. 4. Dependence of the value of a single-stage TEC complex $(nI\lambda/\lambda_0\tau)$ on the relative operating current B for different geometry of thermoelement legs l/S at T = 300K, Q_0 = 0,5W, ΔT = 40K. 1 – mode $Q_{0\max}$; 2 – mode $(nI)_{\min}$; 3 – mode $(nI\lambda/\lambda_0\tau)_{\min}$; 4 – mode $(nI\lambda/\lambda_0)_{\min}$; 5 – mode $\lambda_{\min}$.

− the time of reaching the stationary operating mode τ decreases (Fig. 5) for different geometry of thermoelement legs (ratio l/S). With an increase in the ratio l/S, the time to reach the stationary mode of operation τ decreases at a fixed relative operating current B

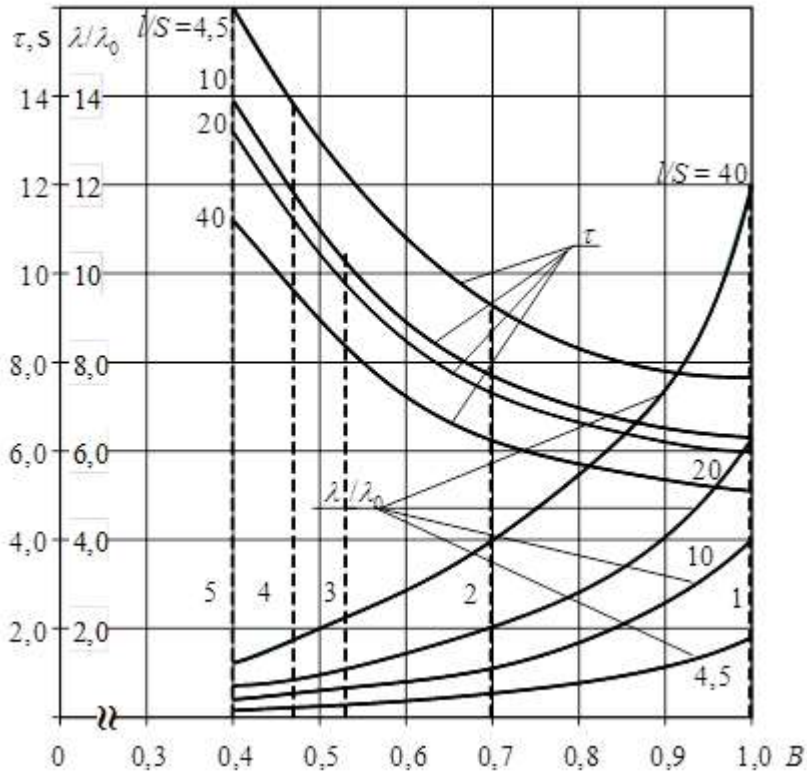


Fig. 5. Dependence of the time to reach the stationary operating mode τ and the relative value of the failure rate λ/λ_0 of a single-stage TEC on the relative operating current B for different geometry of thermoelement legs l/S at $T = 300K, \Delta T = 40K, Q_0 = 0{,}5\ W$ 1 – mode $Q_{0\max}$; 2 – mode $Q_{0\max}$; 3 – mode $(nI\lambda/\lambda_0\tau)_{\min}$; 4 – mode $(nI\lambda/\lambda_0)_{\min}$; 5 – mode $\lambda_{\min}$.

– the relative failure rate λ/λ_0 increases (Fig. 5) for different geometry of thermoelement legs (ratio l/S). As the ratio l/S increases, the relative failure rate λ/λ_0 increases at a fixed relative operating current B;

– the functional dependence of the voltage drop $U = f(B)$ has a minimum at $B = 0{,}71$ in the mode $(nI)_{\min}$ (Fig. 6) for different geometry of thermoelement legs (ratio l/S). With an increase in the ratio l/S, the magnitude of the voltage drop U increases at a fixed relative operating current B;

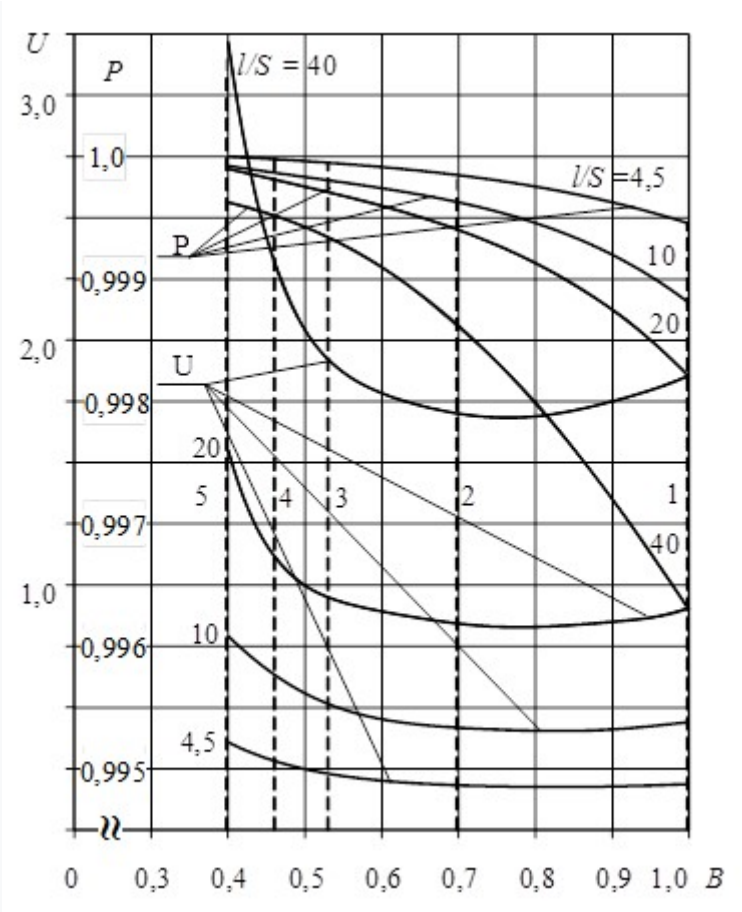


Fig. 6. Dependence of the voltage drop $U$and the probability of failure-free operation P of a single-stage TEC on the relative operating current B for different geometry of thermoelement legs l/S at $= 300K,\ \Delta T = 40K,\ Q_0 = 0{,}5\ W$. 1 – mode $Q_{0\max}$; 2 – mode $(nI)_{\min}$; 3 – mode $(nI\lambda/\lambda_0\tau)_{\min}$; 4 – mode $(nI\lambda/\lambda_0)_{\min}$; 5 – mode $\lambda_{\min}$.

– the probability of failure-free operation P decreases (Fig. 6) for different geometry of thermoelement legs (ratio l/S). With an increase in the ratio l/S, the probability of failure-free operation P decreases at a fixed relative operating current B;

– the functional dependence of the coefficient of performance $E = f(B)$ has a maximum $B = 0{,}54$ at in the mode $(nI\lambda/\lambda_0\tau)_{\min}$ (Fig. 7, item 1) and does not depend on the geometry of the thermoelement legs (ratio l/S);

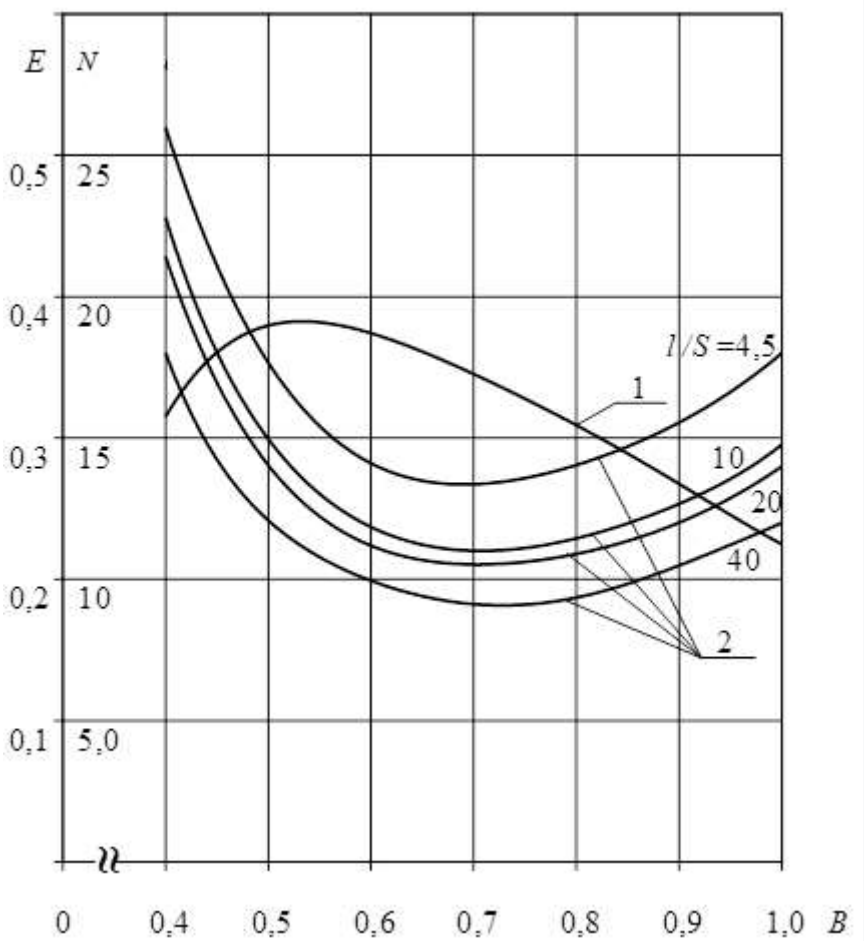


Fig. 7. Dependence of the coefficient E of performance and the amount of consumed energy N of a single-stage TEC on the relative operating current B for different geometry of thermoelement legs (ratio l/S) at $T = 300K$, $\Delta T = 40K$, $Q_0 = 0{,}5\ W$. $1 - E = f(B)$, $2 - N = f(B)$.

– the functional dependence of the amount of consumed energy $N = f(B)$ has a minimum $B = 0{,}71$ at in the mode $(nI)_{\min}$ for different geometry of thermoelement legs (ratio l/S) (Fig. 7, item 2). With an increase in the ratio l/S, the amount of energy N expended decreases at a fixed relative operating current B.

The calculation results of the main parameters, reliability indicators and the time to reach the stationary operating mode τ in the mode $(nI\lambda/\lambda_0\tau)_{\min}$ for various temperature drops ΔT from $\Delta T = 10\text{K}$ to $\Delta T = 60\text{K}$ for $l/S = 4{,}5$ are given in Table 2.

Table 2

The main parameters and indicators in the mode $(nI\lambda/\lambda_0\tau)_{\min}$ at $T =$ 300K; Q_0 =0,5 W; l/S= 4,5; $R_H = 5 \cdot 10^{-3} Ohm$; $I_{\max H} = 12,24$A

B	n pc	I, A	U, B	E	W, W	τ, s	N, W·s	λ/λ_0	$\lambda \cdot 10^8$, 1/h	P
$\Delta T = 10$K; $T_0 = 290$K; $\Delta T_{\max} = 101$K; $\Theta = 0,1$; R = $4,89 \cdot 10^{-3}$Ohm $I_{\max} = 12,0$A										
0,113	6,3	1,36	0,11	3,37	0,15	7,9	1,19	0,00035	0,0011	0,99999989
$\Delta T = 20$K; $T_0 = 280$K; $\Delta T_{\max} = 93,7$K; $\Theta = 0,213$; R = $4,74 \cdot 10^{-3}$Ohm										
0,237	3,7	2,80	0,13	1,41	0,355	8,9	3,16	0,0072	0,0216	0,9999978
$\Delta T = 30$K; $T_0 = 270$K; $\Delta T_{\max} = 86,8$K; $\Theta = 0,346$; R = $4,69 \cdot 10^{-3}$Ohm										
0,376	3,1	4,31	0,16	0,71	0,70	10,0,5	7,0	0,052	0,156	0,999984
$\Delta T = 40$K; $T_0 = 260$K; $\Delta T_{\max} = 79,8$K; $\Theta = 0,50$; R = $4,55 \cdot 10^{-3}$Ohm $I_{\max} = 11,1$A										
0,532	3,2	5,9	0,22	0,38	1,30	11,9	15,5	0,255	0,766	0,999923
$\Delta T = 50$K; $T_0 = 250$K; $\Delta T_{\max} = 73,1$K; $\Theta = 0,684$; R = $4,41 \cdot 10^{-3}$Ohm										
0,71	4,1	7,7	0,36	0,18	2,77	15,0	41,6	1,12	3,36	0,99966
$\Delta T = 60$K; $T_0 = 240$K; $\Delta T_{\max} = 66,8$K; $\Theta = 0,90$; R = $4,33 \cdot 10^{-3}$Ohm $I_{\max} = 10,53$A										
0,91	11,3	9,6	1,2	0,044	11,5	23,1	266	8,3	24,8	0,9975

With an increase in the temperature difference ΔT in the mode $(nI\lambda/\lambda_0\tau)_{\min}$ at = 0.5W and the ratio $l/S = 4,5$:

– the relative operating current B increases (Fig. 8, item 1);

– functional dependence $n = f(\Delta T)$ has a minimum at $\Delta T = 30$K (Fig. 8 item 2);

– the refrigerating coefficient E decreases (Fig. 8, item 3);

– the time of reaching the stationary mode of operation τ increases (Fig. 9, item 1);

– the relative intensity of failures λ/λ_0 increases (Fig. 9, item 2);

– the probability of failure-free operation P decreases (Fig. 9, item 3);

– the amount of energy expended increases N.

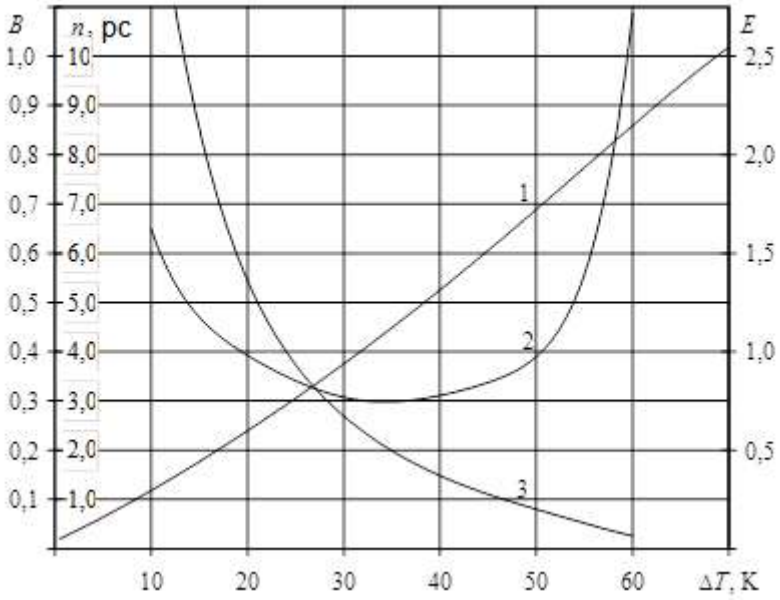


Fig. 8. Dependence of the coefficient E of performance and the amount of consumed energy N of a single-stage TEC on the relative operating current B for different geometry of thermoelement legs (ratio l/S) at $T = 300K$, $\Delta T = 40K$, $Q_0 = 0{,}5\ W$. 1 – $E = f(B)$, 2 – $N = f(B)$.

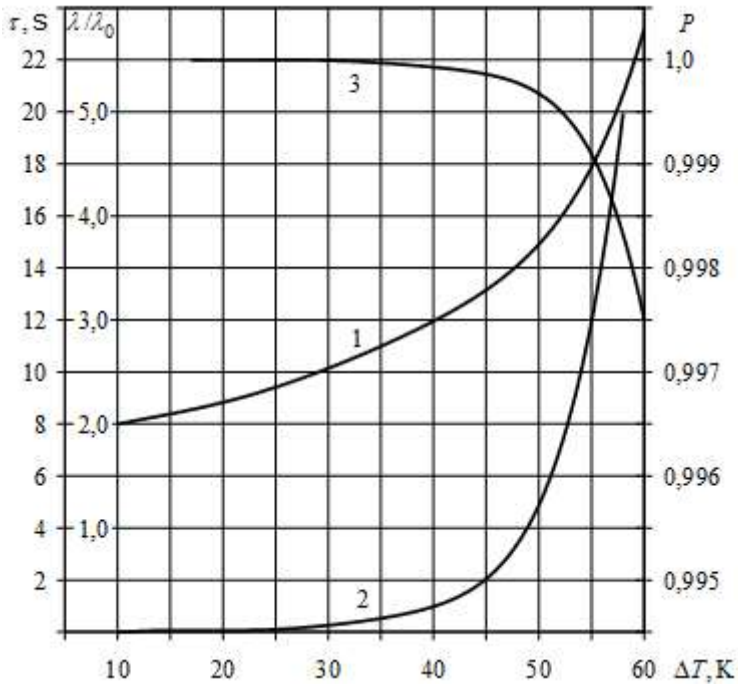


Fig. 9. Dependence of the time of reaching the stationary mode of operation τ, the relative magnitude of the failure rate λ/λ_0, the probability of failure-free operation P of a single-stage TEC on the temperature difference ΔT in the mode $(nI\lambda/\lambda_0\tau)_{\min}$ at $T = 300\ K$, $Q_0 = 0{,}5\ W$, $l/s = 4{,}5$ 1 – $\tau = f(\Delta T)$, 2 – $\lambda/\lambda_0 = f(\Delta T)$, 3 – $P = f(\Delta T)$

Conclusions:

1. A model for controlling the thermal regime of a single-stage TEC with minimizing the complex $(nI\lambda/\lambda_0\tau)$ in the range of temperature drops from $\Delta T = 10\text{K}$ to $\Delta T = 60\text{K}$ and stationary heat load $Q_0 = 0{,}5\,\text{W}$.

2. Received a relationship to determine the optimal relative operating current $B_{\text{опт}}$ corresponding to the minimum value of the complex $(nI\lambda/\lambda_0\tau)_{\min}$.

3. At a given temperature drop and stationary heat load Q_0 the size of the complex $(nI\lambda/\lambda_0\tau)$ depends on the geometry of the thermoelement legs l/S.

4. The minimization of the complex $(nI\lambda/\lambda_0\tau)$ with the variation of the four main parameters n, I, λ/λ_0 and τ allows you to select the current mode of operation that provides optimal control of the thermal mode of the TPP with the minimum power consumption with acceptable weight and size, reliability and dynamic characteristics of the device.

DOI 10.46299/ISG.2021.MONO.TECH.II-292-299

3.3 Застосування задачі багаторукого бандита для максимізації пропускної здатності мережі

Задача про Багаторукого бандита (ББ) – одна з головних задач в теорії прийняття рішень та навчання з підкріпленням, мета якої оптимальне розподілення ресурсів в умовах невизначеності [202, 204, 205].

Навчання з підкріпленням – розділ у машинному навчанні, дає можливість агенту вчитися в інтерактивному середовищі методом. Агент отримує винагороду або покарання на кожну дію, таким чином формується досвід.

Як і у навчанні зі вчителем, так і навчання з підкріпленням використовують залежність між входом і виходом, але на відмінунавчанні зі вчителем, де зворотний зв'язок, що надається агенту, є правильним набором дій для виконання завдання, навчання з підкріплення використовує нагороди та покарання як сигнали для позитивної та негативної поведінки [203].

У порівнянні з навчанням без вчителя, навчання з підкріпленням відрізняється з точки зору цілей. Хоча метою некерованого навчання є пошук подібності та відмінності між точками даних, у процесі навчання з підкріплення мета полягає у пошуку відповідної моделі дій, яка б максимізувала загальну сукупну винагороду агента. На рис. 1 представлена основна ідея та елементи, що беруть участь моделі навчання з підкріпленням.

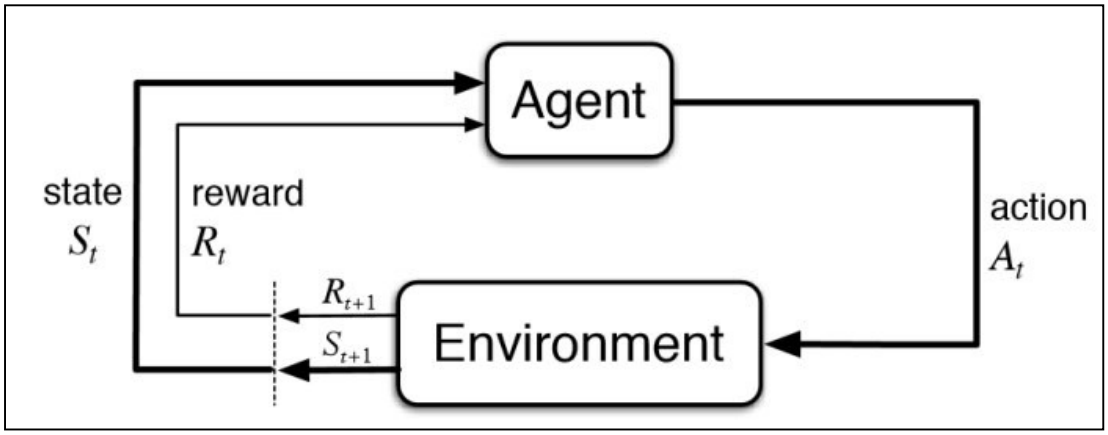


Рис.1. Модель навчання з підкріпленням.

Задачу ББ Бернуллі можна описати як кортеж значень $\langle A, R \rangle$, де є K автоматів з вірогідністю винагороди $P_K = \{p_1, p_2, ..., p_K\}$. На кожному кроці t

виконуємо дію a – тягнемо за важіль автомата – та отримуємо винагороду r. A – це множина дій, що відображує взаємодію з автоматом K_i. Значення дії a – це очікувана винагорода, $Q(a) = E[a] = p$. Якщо дія a_t на кроці t_i – автомата, тоді $Q(a_t) = p_i$. R – це функція винагород. У випадку ББ, ми отримуємо винагороду r в стохастичній формі. На кожному кроці $r_t = R(a_t)$ поверне винагороду в розмірі 1 з вірогідністю $Q(a_t)$ або 0 [202].

Дана модель є спрощеною версією ланцюга Маркова, так як відсутній стан S. Мета – максимізувати накопичувальну винагороду $\sum_{t=1}^{T} r_t$. Якщо відома оптимальна дія з найкращою винагородою, тоді мета мінімізувати потенційні втрати через вибір неоптимальної дії.

Оптимальна вірогідність винагороди p^* оптимальної дії a^*: $p^* = Q(a^*) = Q(a) = p_i$. Функція втрат – це загальні втрати від вибору неоптимальних дій a на кроках T: $L_T = E\left[\sum_{t=1}^{T}(p^* - Q(a_t)\right]$ [205].

Дилема «Досліджуй та використовуй» одна з основних проблем навчання в підкріпленням. Агенти-алгоритми хочуть застерегти себе від можливих втрат, експериментуючи з субоптимальними варіантами, щоб з'ясувати їх рентабельність. Якщо їх рентабельність виявиться високою дані варіанти можна використовувати частіше. Друга перевага від досліджень варіантів – це оцінка невизначеності.

ε – жадібний алгоритм обирає найкращу дію більшість часу, але час від часу проводить випадкові дослідження. Значення дії оцінюється враховуючи попередній досвід шляхом усередненням винагороди, що пов'язана з ціллю дії a, яку спостерігали до поточного кроку t: $\hat{Q}_t(a) = \frac{1}{N_t(a)} \sum_{j=1}^{t} r_j 1[a_j = a]$, де 1 – це бінарний індикатор функції та $N_t(a)$ - кількість обраних дій $N_t(a) = \sum_{j=1}^{t} 1[a_j = a]$ [203].

Згідно даного алгоритму, з невеликою вірогідністю ε, дія a обирається випадково. Але в більшості випадків, тобто з вірогідністю $1-\varepsilon$, обирається найкраща дія, яка була обрахована до кроку t: $a_t^* = \arg\arg Q_t(a)$.

Щоб уникнути неефективного навчання, один підхід полягає у зменшенні параметра ε в часі, а інший – дослідження варіантів з високою невизначеністю і, отже, надання переваги діям, для яких ми ще не маємо оцінки. Або іншими словами, слід надати перевагу дослідженню дій із сильним потенціалом, щоб отримати оптимальне значення [205].

Алгоритм UCB вимірює цей потенціал верхньою межею значення винагороди $U_t(a)$, так що справжнє значення буде нижче за межу $Q(a) \le Q_t(a) + U_t(a)$ з високою вірогідністю. Верхня межа $U_t(a)$ – це функція від $N_t(a)$. Найбільша кількість спроб $N_t(a)$ повинна давати найменшу межу $U_t(a)$.

В сімействах алгоритмів UCB ми завжди слід обирати більш жадібну дію, щоб максимізувати верхню межу довіри: $a_t^{UCB} = \arg\max_{a \in A} Q_t(a) + U_t(a)$ [204].

Тепер постає питання – як досягти верхню межу довіри. Існує декілька способів. Верхня межа обраховується за наступною формулою: $U_t(a) = \sqrt{\frac{2\log t}{N_t(a)}}$. А винагорода обраховується за наступною формулою: $a_t^{UCB} = \arg\max_{a \in A} Q_t(a) + \sqrt{\frac{2\log t}{N_t(a)}}$ [202].

Виконаємо сем плювання Томпсона, де на кожному кроці t, обирається дія a відповідно з вірогідністю того, що вона є оптимальною: $p(h_t) = P[h_t] = E_{R|h_t}[1(a = \arg\arg Q(a))]$, де $p(h_t)$ – це вірогідність вибрати дію a в даній історії h_t [202].

Для ББ логічно припустити, що $Q(a)$ відповідає Бета–розподілу, так як $Q(a)$ – це вірогідність успіху p в розподілі Бернуллі (Бета-розподіл та розподіл Бернуллі є апріорно зв'язані). Значення Бета (α, β) лежить в інтервалі [201, 202]. α та β відповідають підрахункам успіхів та невдач отримати винагороду.

Спочатку ініціалізуються Бета параметри α та β, що базуються на деяких попередніх знаннях чи тверджень про дію. До прикладу: $\alpha = 1$ та $\beta = 1$, очікувана вірогідність винагороди 50%, але впевненості в цьому немає. $\alpha = 1000$ та $\beta = 900$: ми впевнені, що вірогідність винагороди 10% [204].

На кожному кроці t обирається очікувана винагорода $Q(a)$, з попереднього розподілу Бета (α_i, β_i) для кожної дії. Краща дія обирається серед варіантів $a_t^{TS} = \arg\arg Q(a)$. Після того справжня винагорода буде знайдена, можна оновити Бета-розподіл: $\alpha_i \leftarrow \alpha_i + r_t 1\left[a_t^{TS} = a_i\right]$, $\beta_i \leftarrow \beta_i + (1-r)_t 1\left[a_t^{TS} = a_i\right]$ [203].

Семплювання Томпсона використовує ідею зіставлення вірогідностей (probability matching). Так як винагорода Q оцінюється з апостеріорних розподілів, кожна з вірогідностей рівнозначна вірогідності того, що відповідна дія є оптимальною.

Сформуємо реальну бізнес-задачу: нехай рекламна кампанія розміщує на веб-сторінці 10 різноманітних РБ, що орієнтовані на певну групу користувачів. Зібрані дані, що відображають 10 РБ по стовпцях та 10000 відвідувань веб-сторінки користувачами і їх кліки на банери. 1 – якщо на РБ клікнули, та 0 – в іншому випадку. На рис. 2 наведено приклад з початкового набору даних [205].

	Ad 1	Ad 2	Ad 3	Ad 4	Ad 5	Ad 6	Ad 7	Ad 8	Ad 9	Ad 10
0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
7	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0

Рис. 2. Перші 10 рядків зібраних даних.

Дізнаємось, рейтинг кліків кожного РБ. Для цього скористаємося наступною формулою: $CTR = \frac{кількістькліків}{кількістьпоказів} * 100\%$.

На рис. 3 зображені обрахунки РК. Також можна зробити висновок, що РБ під номером 5 – найпопулярніший варіант.

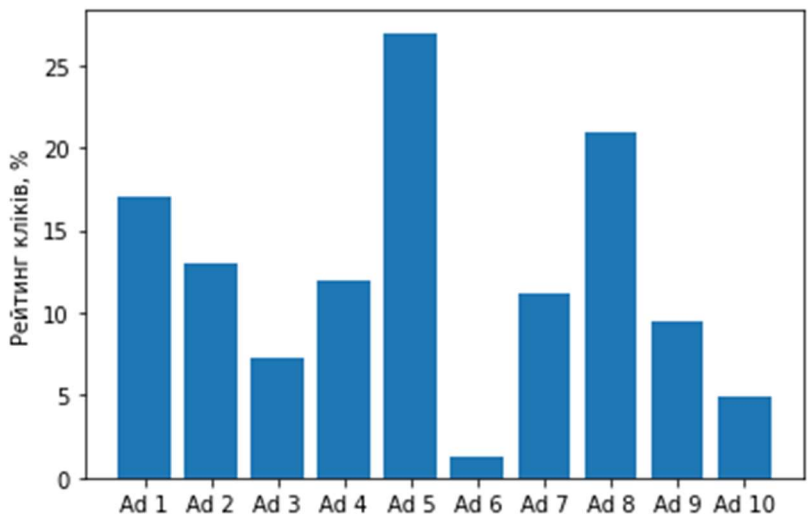


Рис. 3. Рейтинг кліків рекламних банерів

Структурно програма складається з 5 класів:

Клас MAB – уособлює собою ББ. Основне завдання класу – обрахунок реальної вірогідності отримати винагороду та сам механізм генерування винагороди.

Клас Environment() – уособлює собою середовище, в якому діє ББ. Приймає об’єкт класу MAB(). Основне завдання класу - запуск стратегії на t кроків, оновлення втрат на кожному кроці t.

Класи EpsilonGreedy(Environment), ThompsonSampling(Environment), UCB1(Environment) – уособлює стратегії ББ. Основне завдання класів – обрахунок очікуваної винагороди та вибору дії, що є найоптимальнішою на кожному кроці t. Саме механізм вибору дії різний в кожній стратегії. Нижче подано реалізацію найоптимальнішої дії a на кожному кроці t.

Алгоритм для EpsilonGreedy(Environment)

Ініціалізується вектор очікуваної вірогідності отримати винагородур.

Для кожного крокуагента:

1. Генерується випадкове значенняr від 0 до 1

2. Якщо r менше від ε, тообирається випадковий банер.

Якщоrбільше за ε, то обирається банер з найбільшою вірогідністю отримати винагородуз вектора p.

3. Агент отримує винагороду або штраф за обраний банер.

4. Оновлюється вектор p.

Алгоритм для ThompsonSampling(Environment)

Ініціалізуються вектори для кожного банера бути обраним/необраним.

Для кожного кроку агента:

1.Генерується вектор c за Бета-розподілом з відповідними значеннями α та β з векторів a та b відповідно.

2. Обирається найбільше значення у векторі c. Індекс обраного значення відповідає номеру банера.

3. Агент отримує винагороду або штраф за обраний банер.

4. Якщо отримано винагороду то оновлюється вектор a, якщо – ні вектор b.

Алгоритм для UCB1(Environment).

Ініціалізується вектор очікуваної вірогідності отримати винагородур та крок $t = 0$.

Для кожного крокуагента:

1. Обирається банер як максимальне значення з суми наявних вірогідностей та верхної межі.

2. Агент отримує винагороду або штраф за обраний банер.

3. Оновлюється вектор b.

Один з методів ефективності алгоритмів є концепція втрат (regret). Це різниця між очікуваними та реальними даними. Втрати алгоритму щодо своєї дії повинні бути якомога нижчою. Нижче, на рис. 4, подані кумулятивні витрати на кожному кроці t. Аналізуючи графік нижче, можна прийти до висновку, що найменші втрати у CT.

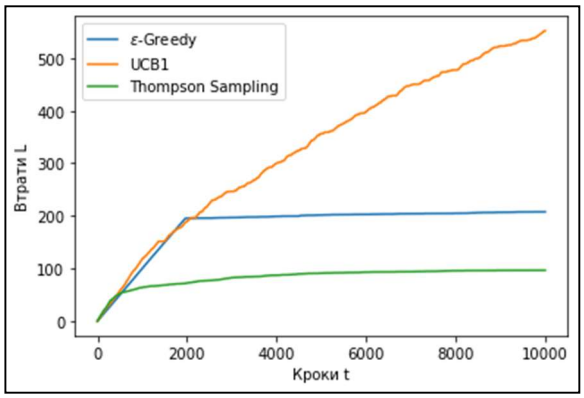


Рис. 4. Кумулятивні витрати.

На рис. 5 зображено графік реальний та обрахованих вірогідностей для кожного банеру відповідно до алгоритму.

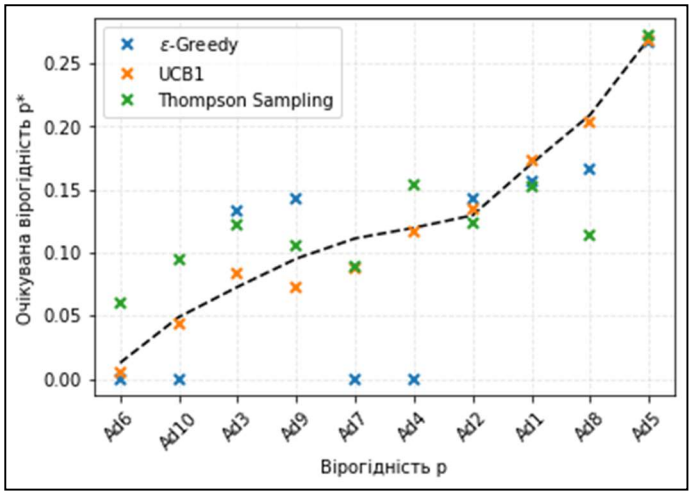


Рис. 5. Графік реальної та очікуваної вірогідності за результатами експеримента.

На рис. 6 показано як часто даний банер було обрано як оптимальний. Усі алгоритми обранли дійсно найпопулярніший банер, але UCB1 частіше робив дослідження.

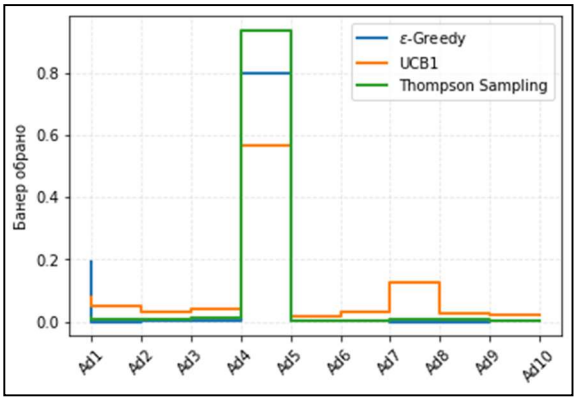


Рис. 6. Оптимальний банер

За результатами роботи можна побачити, алгоритми ББ завжди забезпечують оптимальний варіант. Конкретний вибір алгоритму залежить від того, чи бажає користувач визначити пріоритетний автомат (в даному випадку рекламний банер) чи динамічний аналіз, а також передбачуваний розмір та тривалості експерименту.

ε – жадібний та UCB1 алгоритми змогли у кінцевому випадку знайти оптимальний банер, не жертвуючи дослідженням усіх варіантів та виявляти статистичні відмінності між ними, тоді як CT оптимізований для максимізації довгострокового результату. Але хоча ε – жадібний алгоритм і досліджував середовище, коли ε встановлено занадто низьким, ε – жадібний алгоритм може в найкращому випадку захопити найбільше значення, але поведінка алгоритму також стає досить нестабільною. Тому, підсумовуючи, UCB-1 – це правильний вибір алгоритму ББ для динамічних, а CT – для статичних даних в інформаційній мережі.

DOI 10.46299/ISG.2021.MONO.TECH.II-300-309

3.4 Модель вибору геоінформаційної системи дорожньо-будівельної організації в умовах інтервальної інформації

Однією з основних задач геоінформаційних систем є моніторинг стану дорожнього полотна і планування ремонтів. Якщо використовувати геоінформаційні системи для інтеграції різносторонньої інформації про дорожню мережу (види/якість покриття, транспортне навантаження, дати ремонтів), то на її основі можна побудувати динамічну модель зносу шляхів і автоматизувати планування ремонтів. У базі геоданих також зручно зберігати відомості про дорожні знаки і іншу «придорожню» інформацію, прив'язану до географічних або прямокутних координат [206]. Моніторинг покриття потрібен не тільки автошляхам, але і аеропортам. Тому використання геоінформаційних систем в дорожньо-будівельній організації можуть помітно підвищити ефективність управління будівництвом.

Критерії вибору геоінформаційних систем:

- повнота звітів;
- можливість роботи з різними картами;
- сервісні функції при роботі з картами;
- інтеграція в спеціалізовані облікові програми і системи;
- поділ функцій по галузях діяльності;
- ергономічність інтерфейсу;
- вартість;
- конфіденційність інформації;
- підтримка та оновлення програмного забезпечення;
- навчання та навчальні матеріали.

Програмне забезпечення геоінформаційних систем підтримує той або інший набір функціональних можливостей геоінформаційних систем і включає спеціалізовані програмні засоби, такі як універсальні повнофункціональні геоінформаційні системи, або інструментальні геоінформаційні системи, картографічні візуалізатори, картографічні браузери , засоби настільного картографування, інформаційно-довідкові системи, засоби, що обслуговують

окремі функціональні групи: конвертування форматів, цифрування, векторизацію, створення й обробку цифрових моделей рельєфу, взаємодія із системами супутникового позиціонування. Комплект поставки програмного забезпечення геоінформаційних систем може включати окремі функціональні модулі, що забезпечують вирішення завдання [207-208].

Спеціалізоване програмне забезпечення геоінформаційних систем, може бути розроблено автономно або на основі адаптації, або доробки існуючих універсальних засобів геоінформаційних систем та призначається для вирішення прикладних завдань. У комплексі з програмним забезпеченням геоінформаційних систем використовуються інші типи програмних засобів - пакети статистичного аналізу, системи управління базами даних, системи автоматизованого проєктування, електронні таблиці, засоби цифрової обробки зображень [207-208].

Одною з головних вимог, при проведенні аналізу існуючого програмного інструментарію, є підтримка провідних сучасних технологій, на основі яких може бути побудований якісне, задовольняюче всім світовим стандартам в області розробки програмне забезпечення, а також виконувати всі покладені на нього завдання, програмний продукт [209].

Аналіз [206-209] показав, що вибір програмних засобів проводиться або за прайсами, які торгують даним видом продукції фірм, або за індивідуальним вимогам, які формує замовник.

Актуальність проблеми. Проблема на сьогоднішній день полягає в тому, що існуючі моделі вибору геоінформаційних систем, враховують в основному кількісні чіткі критерії, що робить вибір не завжди ефективним, тому що не дозволяють вирішувати завдання з урахуванням інтервальних оцінок критеріїв вибору. Тому для вирішення даного завдання пропонується використовувати математичний апарат в умовах інтервальної невизначеності [210].

З огляду на перспективи подальшого розвитку систем підтримки прийняття рішень при їх проектуванні, метою статті є підвищення ефективності будівництва доріг за рахунок розробки моделі вибору геоінформаційної системи

дорожньо-будівельної організації в умовах інтервальної інформації. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- розробити структурну схему інформаційної технології вибору геоінформаційної системи дорожньо-будівельної організації в умовах інтервальної інформації
- провести аналіз методів прийняття рішень в умовах інтервальної інформації;
- розробити модель вибору геоінформаційної системи дорожньо-будівельної організації в умовах інтервальної інформації.

3.4.1 Структурна схема інформаційної технології вибору геоінформаційної системи дорожньо-будівельної організації в умовах інтервальної інформації

На рисунку 1 представлена структура інформаційної технології вибору геоінформаційної системи дорожньо-будівельної організації в умовах інтервальної інформації.

Результати кожного з етапів інформаційної технології є вхідними даними для наступних етапів. На кожному з етапів є можливість переходу не тільки на наступний етап, але і на будь-який з попередніх.

Проводиться формалізація всіх етапів проектування, основних елементів інформаційної технології, і розробляються моделі для вирішення кожної задачі.

За допомогою методів багатокритеріальної дискретної оптимізації відбувається отримання результатів, а потім їх оцінка та порівняння з обраною метою. Якщо мета не досягнута, то проводиться корекція раніше прийнятих рішень до тих пір поки мета не буде досягнута.

Розроблена інформаційна технологія дозволяє приймати рішення, щодо вибору геоінформаційної системи і провести перевірку отриманих проектних рішень і, при необхідності, вводити нові елементи в процес. Результати

порівнюються з поставленою метою. Якщо мета досягнута, то переходимо до реалізації рішень, що було сгенеровано.

Даний процес має ітераційний характер, що дозволяє отримати ефективне рішення шляхом аналізу і вибору можливих варіантів побудови рішень. Тому на кожному з етапів є можливість переходу не тільки на наступний етап, але і на будь-який з попередніх.

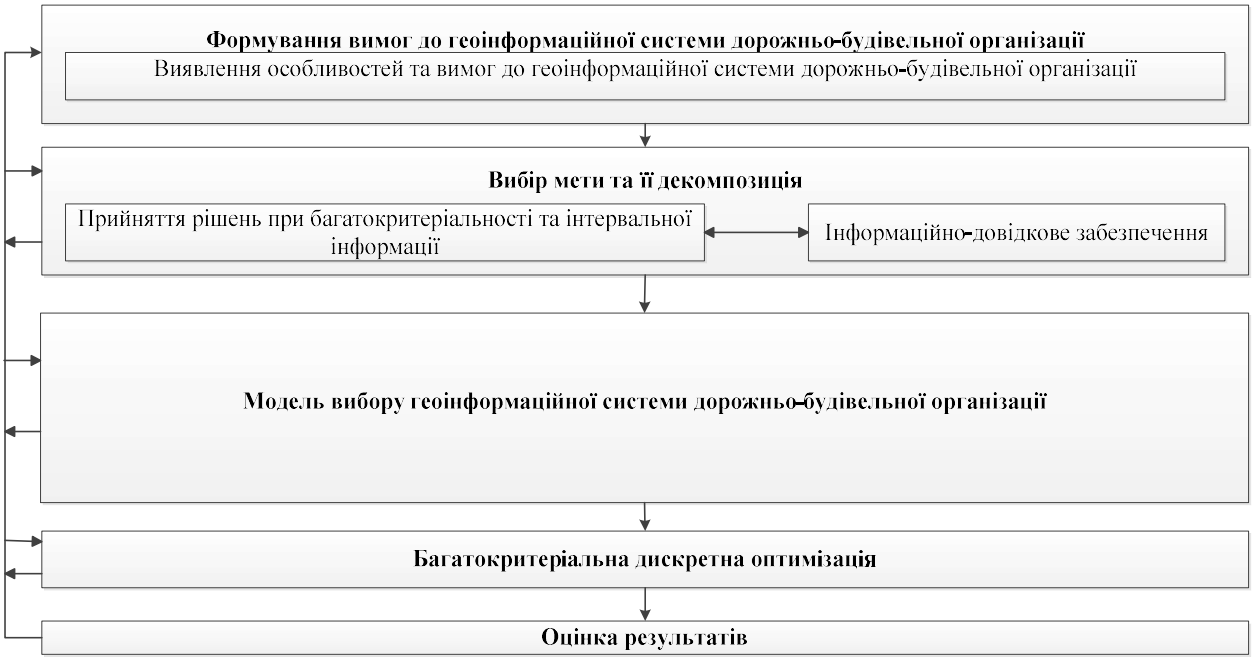


Рисунок 1 - Структура інформаційної технології вибору геоінформаційної системи дорожньо-будівельної організації в умовах інтервальної інформації

Перший етап. Формування вимог до геоінформаційної системи дорожньо-будівельної організації

Другий етап. Формування мети та її декомпозиція, що включає до себе прийняття рішень при багатокритеріальності, інформаційно-довідкове забезпечення.

Третій етап Модель вибору геоінформаційної системи дорожньо-будівельної організації.

Четвертий етап. Багатокритеріальна дискретна оптимізація.

П’ятий етап. Оцінка результатів.

3.4.2 Методи прийняття рішень в умовах інтервальної інформації

У більшості задач багатокритеріальної оптимізації, значення окремих критеріїв задаються в інтервальному вигляді і статистична інформація про характер розподілу значень усередині інтервалу невідома. Експерт в такому випадку може призначити функцію приналежності всередині інтервалу. Тоді значення часткового критерію буде представлено у вигляді нечіткого числа з функцією належності, при цьому, то значення функції приналежності, при якому вона дорівнює одиниці не обов'язково буде знаходитися на середині інтервалу [209].

Особливість прийняття рішень в умовах інтервальної невизначеності полягає в тому, що особа, що приймає рішення має інформацію про межі можливих значень змінних, але завжди апріорна інформація про перевагу, характер розподілу можливих значень змінних всередині інтервалу повністю відсутня. При цьому передбачається, що зовнішнє середовище поводиться пасивно, тобто його стан не пов'язано з рішеннями, які реалізує особа, що приймає рішення [210 - 214].

Метою є вибір такої альтернативи, що була б краще за деяким критерієм. При інтервальній невизначеності, повністю відсутня об'єктивна інформація, на основі якої можна було б визначити метрику для відносної оцінки якості допустимих рішень. Таким чином, розглянута задача прийняття рішень є некоректною (не має однозначної відповіді) і потребує регуляризації, заснованої на залученні зовнішнього, по відношенню до вихідної постановці завдання, інформації. Джерелом такої інформації в ситуації, що розглядається є особа, що приймає рішення, яка на основі свого досвіду, знань, інтуїції висуває деякі гіпотези, в рамках яких формується правило (критерій) вибору ефективного рішення [211]. Розглянемо критерії прийняття проектних рішень для оптимістичної та песимістичної ситуації.

У випадках песимістичної оцінки застосовуємо максимінний критерій Вальда. Цей критерій є найбільш обережним, оскільки він ґрунтується на виборі найкращого з найгірших можливостей. Тому його іноді називають критерієм крайнього песимізму [211]. згідно з критерієм

$$x^0 = \arg\max_{x \in X} \min_{1 \le j \le m} \frac{1}{m} \sum_{j=1}^{m} f(x_i, s_j) , \qquad (1)$$

де $f(x_i, s_j)$ - оцінка проектного рішення;

x_i - узагальнена оцінка функцій приналежності критеріїв;

s_j - стан середовища функціонування.

Правило вибору рішення відповідно до критерію Вальда можна інтерпретувати в такий спосіб. Матриця виграшів доповнюється стовпцем, кожен елемент якого являє собою мінімальне значення виграшу для відповідної стратегії особи, що приймає рішення [211]:

$$W_i(x_i) = \min_{1 \le j \le m} f(x_i, s_j) . \qquad (2)$$

Оптимальною за даним критерієм вважається та стратегія особи, що приймає рішення при виборі, якої мінімальне значення виграшу максимально:

$$x^0 = \arg\max_{1 \le i \le n} W_i(x_i) . \qquad (3)$$

Обрана таким чином стратегія повністю виключає ризик. Це означає, що приймає рішення не може отримати найгірший результат, ніж той, на який він орієнтується, цей результат йому гарантований [211].

Слід зазначити, що вкрай оптимістичне рішення дає вибір

$$x^0 = \arg\max_{x \in X} \max_{1 \le j \le m} f(x_i, s_j) . \quad (4)$$

У практиці прийняття рішень особа, що приймає рішення керується не тільки критеріями, пов'язаними з крайнім песимізмом або урахуванням максимального ризику. Намагаючись зайняти найбільш виважену позицію, особа, що приймає рішення може ввести оціночний коефіцієнт, званий коефіцієнтом песимізму , Який вибирається в інтервалі [205, 206] і відображає проміжну ситуацію між точками зору крайнього оптимізму та крайнього песимізму. Цей коефіцієнт визначається на основі оцінки обстановки, що склалася і особистого досвіду прийняття рішення в подібних ситуаціях. Критерій Гурвіца виражається співвідношенням [211]:

$$x^0 = \arg\max_{1 \le i \le n} \left[a \cdot \min_{1 \le j \le m} f(x_i, s_j) + (1 - a) \cdot \max_{1 \le j \le m} f(x_i, s_j) \right] . \quad (5)$$

При визначенні оптимальної стратегії за критерієм Гурвіца матриця виграшів доповнюється стовпцем, елементи якого розраховуються за формулою [211]:

$$H_i(x_i) = a \cdot \min_{1 \le j \le m} f(x_i, s_j) + (1 - a) \cdot \max_{1 \le j \le m} f(x_i, s_j) . \quad (6)$$

Оптимальною за даним критерієм вважається стратегія, в якій значення максимально:

$$x^0 = \arg\max_{1 \le i \le n} H_i(x_i) . \quad (7)$$

3.4.3 Модель вибору геоінформаційної системи дорожньо-будівельної організації

Введемо змінну $X_{\sigma cv} = \{0;1\}$, де $X_{\sigma cv} = 1$ – якщо обрано геоінформаційну систему c -го типу, v -го виду для виконання σ -ї функції, $X_{\sigma cv} = 0$ – в зворотньому випадку; $Y_{\sigma v} = \{0;1\}$, де $Y_{\sigma v} = 1$ – якщо σ -у функцію може забезпечити cv -а геоінформаційна система, $Y_{\sigma v} = 0$ – в зворотньому випадку.

Часткові критерії оптимізації:

– максимальна швидкість виконання σ -ї функції геоінформаційними системами

$$V_P = min \sum_{\sigma=1}^{\sigma'} \sum_{c=1}^{c^s} \sum_{v=1}^{v^c} \sum_{x=1}^{x'} V_{\sigma v} Y_{\sigma v} X_{\sigma cv}, \tag{8}$$

де S_{cv} –інтервальна оцінка виконання σ -ї функції геоінформаційними системами c -го типа v -го виду;

– мінімальні вимоги геоінформаційних систем до технічних характеристик технічних засобів

$$R_P = min \sum_{\sigma=1}^{\sigma'} \sum_{c=1}^{c^s} \sum_{v=1}^{v^c} \sum_{x=1}^{x'} R_{\sigma vx} Y_{\sigma v} X_{\sigma cv}, \tag{9}$$

де $R_{cv\xi}$ – інтервальна оцінка ξ -ї вимоги геоінформаційної системами c -го типу, v -го виду до технічних характеристик ТЗ; ξ' – кількість вимог;

– мінімальна вартість геоінформаційних систем

$$C_P = min \sum_{s=1}^{s'} \sum_{c=1}^{c^s} \sum_{v=1}^{v^c} C_{cv} Y_{scv} X_{scv}, \tag{10}$$

де C_{cv} – інтервальна оцінка вартості геоінформаційних систем c-го типу v-го виду.

Область допустимих рішень визначається обмеженнями:

– виконання всіх функцій повинно бути забезпечене геоінформаційними системами

$$\sum_{s=1}^{s'}\sum_{c=1}^{c^s}\sum_{v=1}^{v^c} Y_{scv}X_{scv} = s'; \qquad (11)$$

– мінімальна швидкість виконання σ-ї функції геоінформаційними системами повинна бути не нижче $V_{\text{cv}}^{\min}$

$$\sum_{s=1}^{s'} V_{cv}Y_{scv}X_{scv} \geq V_{cv}^{min}; \qquad c=\overline{1,c^{\sigma}}; \quad v=\overline{1,v^{c}}; \qquad (12)$$

– вимоги cv-го геоінформаційної системи до ξ-ї технічної характеристики технічного засобу при виконанні σ-ї функції повинні не перевищувати заданих $R_{\sigma\xi}^{0}$

$$R_{cv\xi}Y_{\sigma cv}X_{\sigma cv} \leq R_{\sigma\xi}^{0}; \quad c=\overline{1,c^{\sigma}}; \quad v=\overline{1,v^{c}}; \quad \sigma=\overline{1,\sigma'}; \quad \xi=\overline{1,\xi'}; \qquad (13)$$

– вартість геоінформаційних систем повинна бути не більше заданої C^0

$$\sum_{\sigma=1}^{\sigma'}\sum_{c=1}^{c^{\sigma}}\sum_{v=1}^{v^{c}} C_{\sigma cv}Y_{\sigma cv}X_{\sigma cv} \leq C^0 . \qquad (14)$$

Моделі (8) – (14) відносяться до задач багатокритеріального дискретного програмування з булевими змінними, що вирішуються: методом спрямованого перебору при прийнятті рішень у задачах невеликої розмірності; методом випадкового пошуку – в задачах великої розмірності.

В результаті виконаного дослідження була розроблена модель вибору геоінформаційної системи дорожньо-будівельної організації в умовах інтервальної інформації, яка дозволяє підвищити ефективність управління будівництвом доріг.

Розроблена інформаційна технологія та модель орієнтовані для впровадження в будівельних, дорожніх, логістичних і інших організаціях.

DOI 10.46299/ISG.2021.MONO.TECH.II-310-316

3.5 Інтегрований метод найменших квадратів як ефективний засіб параметричного оцінювання у реальних умовах

Існують строго математичні сформульовані методи статистичного оптимального оцінювання параметрів математичних моделей досліджуємих процесів (об'єктів). За надто великих (статистично представницьких) вибірок даних експерименту і відомих законів розподілу випадкових складових процесу вони є оптимальними [215]. Однак, реальність, пов'язана із властивостями реальних об'єктів (обмеженість виборок та недостатня їх інформативність.) , висока чутливість оптимальних методів до неточності статистичних характеристик сигналів і шумів, призводить до відірваності оптимальних методів від реальності. Отже, є необхідність у розробці таких методів ідентифікації, які в реальних умовах давали б результат близький до оптимальних в ідеальних умовах. Інтегрований метод найменших квадратів (ІМНК) є саме таким засобом.

Сучасні інформаційно -вимірювальні комп'ютеризовані системи мають високошвидкісні, достатньо точні первинні перетворювачі фізичних величин у цифрові електричні сигнали з часовою дискретизацією, яка набагато перевищує вимоги за теоремою Шенона-Котельникова. Це відкриває нові можливості для покращення статистичних методів оцінювання як самих сигналів (змінних стану об'єкта), так і математичних моделей (ММ) їх взаємозв'язку у досліджуємому об'єкті. Об'єктами параметричної ідентифікації, як приклад, можуть бути в летальних апаратах (ЛА) залежності сил і моментів від змінних стану ММ ЛА; у технологічних, електротехнічних, економічних та інших об'єктах залежність показника якості $y(t)$ від факторів $x_i(t)$. Останні можуть довільно змінюватись у часі t чи за відповідним алгоритмом планування активного експерименту. Визначення ММ $y(x_1, x_2, ..., x_n)$, наприклад, лінійної ММ

$$y(t) = \sum_{i=1}^{n} \beta_i x_i(t), \qquad (1)$$

а саме оцінок $\hat{\beta}_i$ коефіієнтів β_i, є предметом параметричної ідентифікації. Логічно вважати оптимальними оцінками β_i^* такі, за яких досягається мінімум середньо-квадратичної похибки $\varepsilon(t)$, за умови точних значень $y^*(t)$, $x_i^*(t)$:

$$\beta^* = \left[\left(X^*\right)^T X^*\right]^{-1} \left(X^*\right)^T Y^*. \qquad (2)$$

Реальна ситуація полягає у тому, що як $y(t)$, так і $x_i(t)$ вимірюються у дискретні моменти часу $t_k, k = 1,2,3,...$ з шумами $N_y(t)$, $N_{x_i}(t)$. За досить великого Δt шуми будуть наближатися до «білого». Але при цьому суттєво зменшується вибірка даних з N точок. За меншого Δt кореляційна функція шумів буде відрізнятися від δ-функції Дірака. Однак, як правило, реальна ситуація така, що автокореляція шумів в $y(t)$ і $x_i(t)$ буде згасати набагато швидше, ніж автокореляція корисних сигналів $y^*(t)$ і $x_i^*(t)$. Це пояснюється природною інерційністю процесів $y^*(t)$ і $x_i^*(t)$ у реальному динамічному об’єкті.

Враховуючи цю закономірність було розроблено так званий «інтегрований МНК» (ІМНК) [216].

СУТНІСТЬ ІМНК

Ідеальною оцінкою вектора β^* регресійної залежності

$$Y^* = X^* \beta^* + \varepsilon^*, \qquad (3)$$

де Y^*, X^*, ε^* - точні значення змінних виходу, стану і невязки відповідно, буде МНК-оцінка (2), отримана за умови

$$\beta^* = \arg\min\left(\varepsilon^*\right)^T \varepsilon^*. \qquad (4)$$

В реальній ситуації

$$X = X^* + N_x, \; Y = Y^* + N_y, \tag{5}$$

де за великих Δt шуми N_x, N_y наближаються до «білих», за малих Δt – кольорові. Але їх автокореляція згасає із зсувом τ значно швидше від автокореляції X^*і Y^*.

Якщо скористатися звичайним МНК (2), то (навіть для $N_x(t)$ - «білого» шуму) МНК-оцінка $\hat{\beta}$ за умов (5) буде зміщеною внаслідок збільшення діагональних членів матриці $X^T X$:

$$\Delta\hat{\beta} = \left[\left(X^*\right)^T X^* + \sigma_{x_i}^2 I\right]^{-1} \left(X^*\right)^T Y^* - \beta^*, \tag{6}$$

де $\sigma_{x_i}^2$ - дисперсія N_{x_i}.

З іншого боку, регулюючий за Тихоновим [215] доданок $\sigma_{x_i}^2 I$ зменшує розкид МНК-оцінок $\hat{\beta}$ [216]. У класичній постановці МНК-оцінювання, за якої $\sigma_{x_i}^2 = 0$, є тільки σ_y^2 , МНК-оцінка $\hat{\beta}$ буде не зміщеною, а для N_y - «білого шуму» коваріація МНК-оцінок складе

$$\operatorname{cov}\hat{\beta} = \sigma_{N_y}^2 \left[\left(X^*\right)^T X^*\right]^{-1}. \tag{7}$$

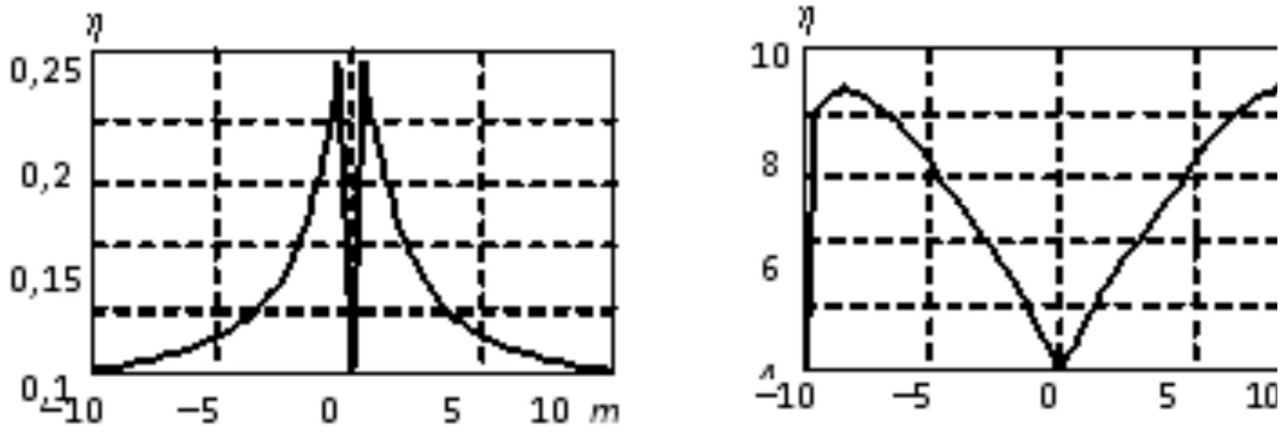
Із зростанням $\sigma_{x_i}^2$ у (6), зміщення $\Delta\hat{\beta}$ прямує до β^* , а $\hat{\beta}$ та $\operatorname{cov}\hat{\beta}$ до нуля. Це робить МНК-оцінювання у реальній ситуації некоректним.

Для реальної ситуації , де $x_i^*(k)$ є гладкі часові послідовності з кроком Δt , $k = \overline{1, M}$, а шуми мають швидко згасаючі автокореляції, доцільно замість функціонала $\varepsilon^T \varepsilon$ нев'язки в МНК застосовувати взважену ваговою функцію $\eta(l)$ суму автокореляцій

$$I_\Sigma = \frac{1}{2} \sum_{l=-m_{кр}}^{l=m_{кр}} \eta(m) \sum_{j=1}^{M} \varepsilon(j) \varepsilon(j+l), \tag{8}$$

де $\eta(m) = (1+|m|)^{\Theta}\left(1-\cos\left|\pi m/m_{кр}\right|\right)^{\gamma}$. (9)

Фінітна функція(9), залежно від параметрів Θ і γ та критичного зсуву $m_{кр}$, за якого втрачається позитивна визначеність визначника матриці $\varepsilon^{T}(k)\varepsilon\left(k \pm m_{кр}\right)$, приймає відповідні форми (Рис. 1).



а) б)

Рисунок 1. Залежність вагової функції $\eta(m)$ від параметрів Θ, γ, $m_{кр}$

Для N_{x_i} білого шуму кращою буде $\eta(m)$ на рис. 1,а, для колорьового – на рис. 1,б.

Детальний теоретичний аналіз ІМНК, як методу мінімізації показника (8), наведено у літературі [216].

Далі наведемо лише результати тестування МНК і ІМНК для ситуації шумів тільки в $y(t)$ і шумів в $y(t)$ і $x_i(t)$ моделі

$$y(k) = \beta_1 x_1(k) + \beta_2 x_2(k), \tag{10}$$

де $k = \overline{1,1000}$, $\beta_1 = \beta_2 = 1$,

$x_1(k) = \sin\left(\frac{2\pi}{T}k\Delta t\right)$, $x_2(k) = \sin\left(\frac{2\pi}{T}k\Delta t + \varphi\right)$, $\varphi = \frac{\pi}{6}$.

Шумами в $y(k)$ і $x_i(k)$ є випадкові числа з діапазону [-215, 215] із рівномірним розподілом. Вагова функція $\eta(l,-2,0.1)$ має вигляд, показаний на Рис. 2.

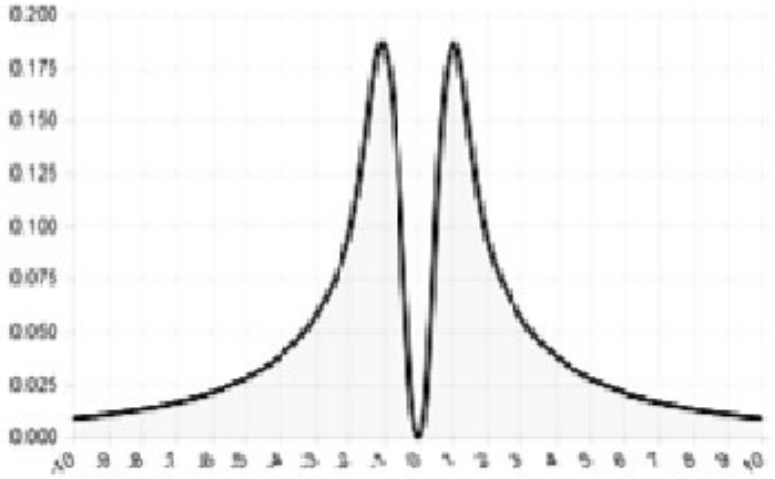


Рисунок 2. Графік вагової функції $\eta(l,-2,0.1)$

В ІМНК в результаті мінімізації показника (8) з $\Theta=-2$, $\gamma = 0.1$ отримано досить точну модель

$$y(t)=0.98x_1(t)+1.05x_2(t),$$

(11)

В МНК при мінімізації показника $\varepsilon^T\varepsilon$ отримано модель

$$\hat{y}(t)=0.76x_1(t)+0.75x_2(t), \tag{12}$$

із суттєво заниженими коефіцієнтами.

Для випадку, коли $\eta(l,\Theta=-1,\gamma=0.1)$ при мінімізації (8) отримано за тих саме шумів, майже точну модель

$$y(t)=0.99x_1(t)+1.007x_2(t). \tag{13}$$

Отже, якщо змінювати параметри Θ, γ вагової функції (9), можна підвищити точність ІМНК.

Для статистично об'єктивного оцінювання зміщення і розкиду оцінок відносно дійсних одиничних згенеруємо 10 статистично незалежних реалізацій шумів. Результати ідентифікації параметрів моделі (1) наведено у таблиці 1.

Таблиця 1.

Результати оцінювання за МНК та ІМНК

	МНК		ІМНК	
N	$\hat{\beta}_1$	$\hat{\beta}_2$	$\hat{\beta}_1$	$\hat{\beta}_2$
1	0,479	0,4981	1,0282	0,9094
2	0,4607	0,4493	1,0179	0,8844
3	0,4843	0,5663	1,0916	0,8435
4	0,5024	0,5401	1,0020	0,9290
5	0,5246	0,4659	1,0313	0,9798
6	0,4997	0,5058	1,2904	0,7437
7	0,4849	0,5255	0,7093	1,2307
8	0,4919	0,4431	0,8283	1,1910
9	0,46476	0,4856	1,0825	0,7197
10	0,4642	0,5015	0,9653	1,0112
β	0,4869	0,5082	1,0047	0,943
$\sigma^2_{\beta_i}$	0,00038	0,0026	0,0241	0,283
σ_{β_i}	0,0197	0,0541	0,1551	0,1682

Як бачимо, оцінки МНК суттєво занижені, в той час, коли їх розкид дещо менший, ніж в ІМНК.

Нарешті, якщо взяти класичну для МНК ситуацію, за якої «білі» шуми мають місце тільки в $y(t)$, а $x_i(t)$ - точні, то як показують результати тестування (таблиця 2) , у випадку шумів тільки в $y(t)$,

Таблиця 2

Результати оцінювання у випадку шумів тільки в $y(t)$

	МНК		ІМНК	
N	$\hat{\beta}_1$	$\hat{\beta}_2$	$\hat{\beta}_1$	$\hat{\beta}_2$
1	0,9871	0,9212	0,9497	1,1019
2	1,0541	0,9371	1,0234	0,8554
3	0,9329	1,0817	0,9825	1,0818
4	1,1181	0,8819	1,0111	0,9132
5	0,9847	1,0192	1,1907	0,9807
6	1,0009	0,5058	1,1018	0,9823
7	1,1549	0,8258	1,0216	0,9879
8	0,9407	1,0765	1,0216	0,9879
9	0,9578	1,0523	0,9639	1,0881
10	1,0007	0,9432	1,0961	0,9946
β	1,0123	0,98	1,028	1,0089
$\sigma^2_{\beta_i}$	0,00055	0,0083	0,0027	0,0073
σ_{β_i}	0,0744	0,0911	0,0522	0,0854

метод ІМНК (внаслідок усереднення кореляції на 2m точках зсуву) дає точніші результати, ніж оптимальний для такої ситуації МНК.

Висновок: Використання ІМНК в багатократно адаптивних системах ідентифікації [218], де задача цілеспрямованої ідентифікації безпосередньо пов’язана з головною (для неї) задачею (керування, прогнозування, діагностики параметрів об’єкта) дозволяє оптимізувати параметри Θ і γ функції (9) по головному (зовнішньому [219] для задачі параметричного оцінювання) критерію.

DOI 10.46299/ISG.2021.MONO.TECH.II-317-329

3.6 Два подхода к прогнозированию временных рядов

Построение модели системы производится по наблюдаемым величинам. В медицине, экологии, социологии динамику объекта исследования отслеживают по временным реализациям – временным рядам. Как правило, при анализе временных рядов используются методы, дающие количественный прогноз (точечный или интервальный). Для временных рядов, у которых гипотеза о существовании тренда не подтверждается, такие методы не продуктивны.

Применение методов теории нелинейных динамических систем к анализу временных рядов основано на предположении, что имеющийся ряд описывает поведение изучаемой системы, и это единственная доступная информация о ней. По известной теореме Такенса [220] для адекватного описания динамической системы в целом достаточно единственного временного ряда.

Анализ временных рядов методами теории нелинейных динамических систем приобретает все более широкое распространение. По терминологии этой теории процесс, описываемый временным рядом, содержит в себе детерминированный хаос, или, проще говоря, является хаотическим. С точки зрения линейных методов анализа – это стохастические процессы. Нелинейный анализ показывает, что с одной стороны, эти процессы нельзя причислить к детерминированным, с другой стороны, абсолютно случайными они также не являются.

Сегодня теория хаоса остается одним из самых распространенных способов прогнозирования и исследования устойчивости состояний динамических систем. Целью анализа устойчивости системы является выявление всех ее стационарных состояний. Если хотя бы одно из стационарных состояний по каким-либо причинам оказывается угрожающим или нежелательным, то его наличие дает возможность выработать превентивные меры, уменьшающие вероятность перехода системы в это состояние.

Одной из часто встречающихся форм потери устойчивости является хаотизация состояния системы [220]. Механизмы перехода системы к такому

состоянию изучены недостаточно. Однако знание того, что такое состояние возможно, требует поиска новых методов исследования систем. Инструментами исследования в теории хаоса являются аттракторы и фракталы. Два наиболее распространенных критерия хаотичности динамических систем – это показатель Ляпунова и фрактальная размерность.

В рамках второго подхода авторы предлагают рассматривать временной ряд $\{x_n\}$ как последовательность регистрируемых сигналов, которые порождаются некоторым случайным процессом. Измерения $x_n\left(n=\overline{1,N}\right)$, как правило, подвержены шуму, который затрудняет описание процесса, не позволяет получить достоверную информацию об источнике сигналов. Для таких стохастических процессов не существует точных математических моделей, что значительно затрудняет анализ и прогнозирование соответствующих временных рядов. Универсальным аппаратом описания подобного рода стохастических процессов является математический аппарат скрытых моделей Маркова (СММ). СММ близки к хорошо известным цепям Маркова. Модели на базе цепей Маркова относятся к структурным моделям, в которых зависимость будущего от прошлого задается в виде некоторой структуры и правил перехода по ней.

Отличие этих двух теорий состоит в том, что СММ рассматривают изучаемый случайный процесс как смену неизвестных фактических состояний некоторой системы Ω, а значения $x_n\left(n=\overline{1,N}\right)$ временного ряда как ее выходные значения.

3.6.1. Предпрогнозный анализ временных рядов методами фрактального анализа и фазовых траекторий

В работе [221] обосновываются причины малой информативности статистических показателей как следствие наличия фрактальных свойств в поведении временных рядов, эмпирическая функция распределения которых не согласуется с нормальным распределением. Поэтому для обнаружения общей

тенденции поведения временных рядов предлагается на этапе предпрогнозного анализа использовать методы теории хаоса, которые дают возможность провести качественный анализ исследуемого временного ряда. По отношению к динамике социально-природных систем и процессов теория хаоса не только объясняет бифуркационные явления (большие падения или большие выбросы), но и утверждает, что их невозможно предсказать, поскольку природа не есть ряд повторяющихся закономерностей, и характеризуется локальной случайностью и глобальным порядком. По этой причине многие аналитики обоснованно предположили, что распознать в хаотическом движении новые закономерности им поможет фрактальная природа временных рядов [222-225].

К формальным характеристикам хаотических процессов в теории нелинейных динамических систем относятся, в первую очередь, фазовое пространство и аттрактор. Одной из особенностей хаотического поведения системы является неустойчивость траекторий, принадлежащих аттрактору. Количественной мерой этой неустойчивости являются характеристические показатели Ляпунова. Поскольку критерием хаотической динамики является наличие положительного старшего показателя Ляпунова, то естественный интерес представляет возможность его оценки на основании обработки заданного временного ряда [225]. В случае критерия хаоса достаточно вычислить только наибольший показатель Ляпунова.

Нелинейные динамические системы обычно имеют фрактальные аттракторы, то есть неустойчивые фазовые траектории систем с течением времени стремятся стать фракталами [221]. Важным моментом во фрактальном подходе является влияние предыстории случайного процесса на поведение системы сегодня.

Одним из самых востребованных направлений фрактального анализа является изучение динамики во времени такой характеристики, как фрактальная размерность. Этот показатель характеризует повторяемость статистических характеристик естественных временных рядов с изменением масштаба. Фрактальная размерность, введенная Хаусдорфом как D - размерность, является

основной характеристикой фрактальных структур [225, 226].

Имеется несколько методов определения фрактальной размерности для временного ряда, рассматриваемого как совокупность наблюдаемых параметров изучаемой динамической системы во времени. Во-первых, это классический способ клеточного покрытия графического изображения временного ряда, при котором фрактальная размерность определяется точно так же, как и для геометрических фракталов. Второй способ для исследования фрактальных временных рядов был предложен Бенуа Мандельбротом. Он базируется на исследованиях английского ученого Херста и носит название R/S метода.

Для большинства реальных временных рядов аналитическое нахождение фрактальной размерности невозможно. Поэтому величину D определяют численно, например, через показатель Херста H. Влияние настоящего на будущее при анализе временного ряда может быть выражено корреляционным соотношением $C = 2^{2H-1} - 1$ [227].

Если в качестве аппроксимации временных рядов рассматривать совокупность плоских геометрических фигур (клеток) с общим геометрическим параметром δ, то по определению Хаусдорфа D -размерность определяется из закона $S(\delta) \sim \delta^{2-D}$ при $\delta \to 0$, где $S(\delta)$ – площадь всей совокупности клеток с масштабом разбиения δ.

Одним из показателей стабильности временного ряда является индекс фрактальности μ [229-231]. Преимущество этого индекса перед другими фрактальными показателями состоит, в частности, в том, что для его определения с приемлемой точностью достаточно данных на два порядка меньше, чем, например, для определения значения показателя Херста H. Это дает возможность проводить локальный фрактальный анализ временных рядов на основе свойств функции $\mu(t)$.

Один из распространенных способов визуальной оценки временного ряда опирается на процедуру восстановления фазовой траектории. Возможности такого визуального анализа фазового портрета весьма ограничены. Однако для

идентификации сложных непериодических временных реализаций анализ фазовых портретов дает порой больше информации, чем спектральный анализ данных. Преимуществом этого способа является также то, что он применяется независимо от того, построена или нет модель объекта исследования. Поскольку на практике далеко не всегда удается получить подходящую модель, то реальным способом анализа устойчивости системы остается безмодельный способ анализа поведения фазовых траекторий.

В работе авторов [228] проведен анализ устойчивости значения показателя заболеваемости различными кожными патологиями в Украине по его временным реализациям с помощью анализа фазовых траекторий и качественных методов фрактального анализа.

Определение фрактальной размерности для временного ряда было проведено классическим способом клеточного покрытия графического изображения временного ряда.

На рис. 1 изображен анализируемый временной ряд $\{x(t_i)\}_{i=1}^{N}$ и построенное для него минимальное покрытие.

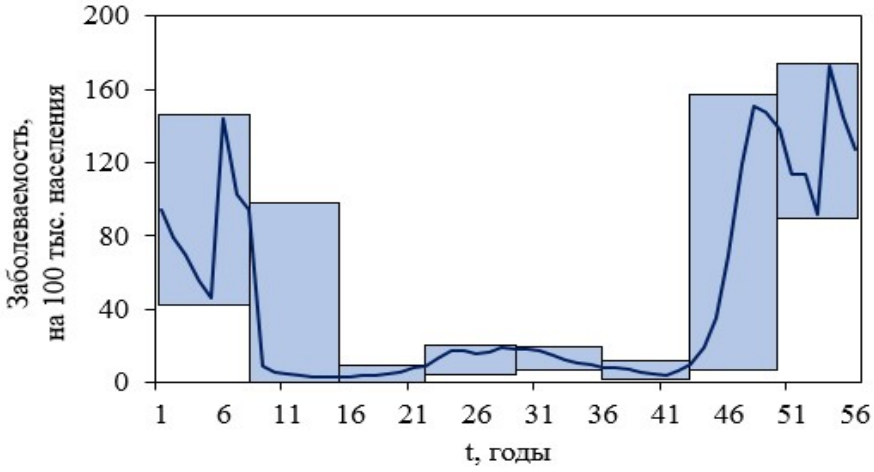


Рисунок 1. Минимальное клеточное покрытие для временного ряда, характеризующего заболеваемость некоторыми кожными патологиями в Украине с 1958 года.

При уровне надежности $\alpha = 0{,}90$ индекс фрактальности исследуемого ряда

оказался равным $\mu = 0,66 \pm 0,073$.

Оценка старшего показателя Ляпунова $\lambda(x_1)$ осуществлялась авторами по методу сравнения точек эволюции фазовой траектории. В соответствии с этим методом оценку $\lambda(x_1)$ для траектории $x_i = x(t_i), i = \overline{1,N}$, дискретного временного ряда $x_{t+1} = f(x_t)$ авторы проводили по формуле

$$\lambda(x_1) = \lim_{N\to\infty} \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} \ln\left|f'(x_i)\right|,$$

соответствующей определению $\lambda(x_1)$ при условии, что предел справа существует. Проведенные расчеты показали, что для заданного временного ряда $\lambda(x_1) \approx 1,18$, то есть $\lambda(x_1)$>0, а следовательно, траектория хаотическая.

Фазовый портрет позволяет выявить особенности поведения системы, важные с точки зрения устойчивости. Для поиска аттрактора в случае двух (трех) факторов строится фазовое пространство и анализируется положение фазовых точек. При их равномерном распределении гипотеза о существовании аттрактора не подтверждается.

На рис. 2 представлены результаты построения фазовых портретов для временного ряда, представленного на рис. 1. Величина временной задержки τ составляет 1 год.

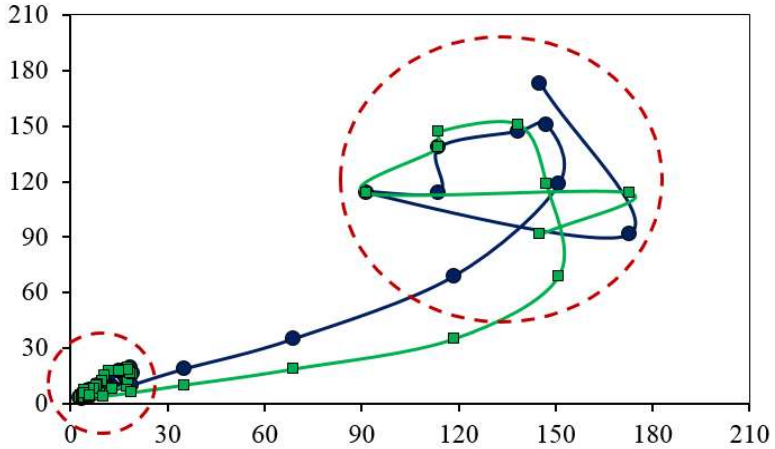


Рисунок 2. Фазовые портреты временного ряда.

Как видно из рис. 2, существует две области сгущения фазовых точек. Их

можно рассматривать как расщепленный аттрактор.

Другими словами, имеет место бифуркация аттрактора. Обычно это связывают с появлением у системы таких изменений состояния, которые могут быть интерпретированы как скачкообразные или близкие к ним. При анализе медицинских данных бифуркация аттрактора влечет за собой с большой вероятностью внезапное кризисное изменение состояния системы.

3.6.2. Прогнозирование временных рядов методом скрытых марковских моделей

Наиболее широкое применение СММ нашли при распознавании речи и анализе изображений [232–234], а также при моделировании финансовых рядов с целью построения решающих правил торговли на финансовых рынках [235, 236].

В настоящих исследованиях аппарат СММ рассматривается применительно к анализу и прогнозированию медико-социальных временных рядов. Медико-социальные ряды отличаются от финансовых не только количеством измерений, но и частотой измерений в единицу времени, что делает медико-социальные ряды существенно инерционными.

Теория СММ не является новой. Первые публикации по этой теме появились еще в 60 – 70-х годах прошлого века. Но тогда широкого развития эта теория не получила ввиду сложности вычислительной части исследований. Поэтому практические аспекты применения метода СММ к прогнозированию временных рядов проработаны недостаточно.

В настоящее время развивается новый подход к моделированию временных рядов, учитывающий структуру корреляции данных. Это динамические байесовские сети [237,238], которые применительно к задаче прогнозирования временных рядов выступают в форме СММ.

Учитывая сказанное выше, актуальной задачей является разработка основ моделирования с целью прогнозирования медико-социальных временных рядов с использованием математического аппарата СММ.

Рассмотрим некоторую динамическую систему Ω, которая в

произвольный момент времени t может находиться в одном из возможных состояний $S_1, S_2, ..., S_N$. В дискретные моменты времени система меняет состояние (возможно, переходя в то же состояние). В этом случае соответствующий случайный процесс представляет собой последовательность событий вида $\{S(t) = S_i\}$ $\left(i = \overline{1,N},\ t = 1, 2, ...\right)$ (в момент времени t система находится в состоянии S_i). Переходы из состояния в состояние происходят под действием случайных факторов. Наиболее важной характеристикой этой цепи событий являются вероятности состояний системы: $p_i(t) = P\{S(t) = S_i\}$. Распределение этих вероятностей – одномерный закон распределения случайного процесса с дискретными состояниями и дискретным временем. Такой процесс называется Марковской цепью.

Полное вероятностное описание системы Ω предполагает задание текущего состояния $S(t)$ и всех предыдущих. В случае Марковского случайного процесса вероятность каждого из состояний $S(t+1)$ системы в будущем зависит лишь от ее состояния $S(t)$ в настоящем, и не зависит от того, когда и как она пришла в это состояние. Другими словами, вероятностное описание такой системы требует знания текущего и предыдущего состояний системы, то есть сводится к виду:

$$P\left\{S(t+1) = S_j \middle| S(t) = S_i, S(t-1) = S_k, ...\right\} = P\left\{S(t+1) = S_j \middle| S(t) = S_i\right\}. \quad (1)$$

Далее рассмотрим процессы, при которых правая часть равенства (1) не зависит от t , то есть не зависят от t вероятности перехода (переходные вероятности) из состояния S_i в состояние S_j:

$$a_{ij} = P\left\{S(t+1) = S_j \middle| S(t) = S_i\right\}, \quad (2)$$

при этом $a_{ij} \geq 0$ и $\sum_{j=1}^{M} a_{ij} = 1$. В этом случае цепи Маркова называются однородными. Принципиальным в наших исследованиях является наличие

стационарного режима в цепи Маркова, то есть такого ее состояния, при котором система Ω продолжает переходить из состояния S_i в состояние S_j, но вероятности этих состояний не зависят от t: $p_i(t) = p_i$. Для существования стационарного режима в цепи Маркова ее однородность является необходимым условием.

В случае стационарного режима в однородной Марковской цепи достаточно просто решаются задачи прогнозирования возможных состояний системы Ω в таких формулировках:

− какова вероятность того, что в следующие k дней последовательность смены состояний будет иметь заранее заданный вид?

− какова вероятность того, что система останется в состоянии S_i k дней?

− каково наиболее вероятное число повторений одного и того же состояния в течении k дней и др.

В случае временного ряда $\{x_n\}$, $n = \overline{1,N}$, зададим $\{x(t) = S_i\}$ $\left(i, t = \overline{1,N}\right)$ как состояние S_i системы Ω в момент времени t. При этом равенство (2) для переходных вероятностей примет вид:

$$a_{ij} = P\left\{x(t+1) = S_j \middle| x(t) = S_i\right\}. \tag{3}$$

В основе построения СММ временного ряда лежит основной принцип теории цепей Маркова, но при условии, что фактические (скрытые) состояния $Q_i\left(i = \overline{1,K}\right)$ системы Ω и их количество не известны, а имеются лишь выходные данные $x_n\left(n = \overline{1,N}\right)$. Скрытая Марковская цепь также представляет собой некоторую последовательность состояний $Q_i\left(i = \overline{1,K}\right)$ в дискретные моменты времени. Переход из состояния Q_i в состояние Q_j происходит также случайно с вероятностью a_{ij} (3).

В случае временного ряда $\{x_n\}$, $n = \overline{1,N}$, построение СММ с целью

прогноза его состояний требует задания таких элементов модели:

1. K – количество состояний системы в модели; $Q=\{Q_1, Q_2, ..., Q_K\}$ – множество состояний; q_t – состояние системы в момент времени t, $t=\overline{1,N}$.

2. M – количество символов алфавита наблюдаемой последовательности состояний; $V=\{V_1, V_2, ..., V_M\}$ – алфавит возможных символов.

3. $A=\|a_{ij}\|$ – матрица вероятностей перехода, где $a_{ij}=P\{q_{t+1}=Q_j | q_t=Q_i\}$ $\left(i, j=\overline{1,K},\ t=\overline{1,N}\right)$.

4. $B=\|b_i(m)\|$ – матрица вероятностей появления символов $V_m\left(m=\overline{1,M}\right)$ алфавита V в состоянии $Q_i\left(i=\overline{1,K}\right)$, то есть $b_i(m)=P\{V_m | q_t=Q_i\}$ – вероятность того, что система, находящаяся в состоянии Q_i в момент времени t, выдаст символ V_m.

5. $\pi=\{\pi_1, \pi_2, ..., \pi_K\}$ – распределение вероятностей начального состояния, где $\pi_i=P\{q_1=Q_i\}$, то есть π_i – вероятность того, что в начальный момент времени $(t=1)$ система находилась в состоянии $Q_i\left(i=\overline{1,K}\right)$.

Совокупность введенных в пп. 1–5 величин (N, K, A, B, π) определяет СММ.

В работе авторов [239] построение СММ выполнялось для временного ряда, впервые рассмотренного авторами в работе [228].

По результатам расширенного теста Дики – Фуллера (ADF-теста) с константой без тренда исходный временной ряд не является стационарным. В случае временного ряда первых разностей $\Delta x_t = x_{t+1} - x_t$, $t=\overline{1,N-1}$, оказалось, что можно сделать вывод о стационарности ряда первых разностей. Поэтому построение СММ проводилось для временного ряда первых разностей

$$\{\Delta x_n\},\ n=\overline{1,N-1}. \tag{4}$$

На рис. 3 приведены графики исходного временного ряда и ряда (4) его первых разностей.

Для определения скрытых $Q_i\left(i=\overline{1,K}\right)$ состояний модели Маркова временного ряда (4) первых разностей наблюдаемой последовательности состояний был проведен кластерный анализ значений этого ряда.

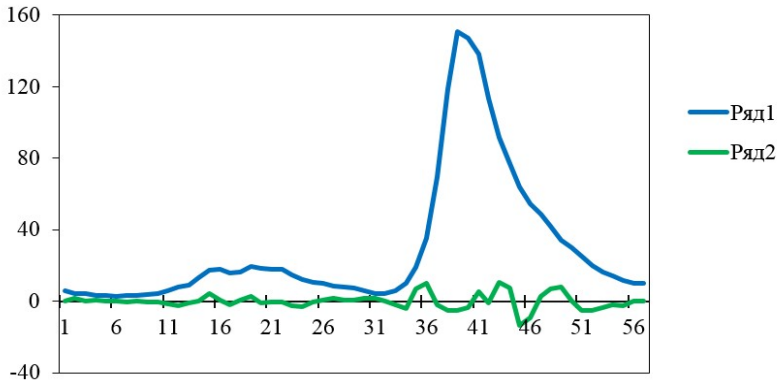


Рисунок 3. Ряд 1 – исходный ряд $\{x_n\}$, $n=\overline{1,N}$; ряд 2 – ряд первых разностей $\{\Delta x_n\}$, $n=\overline{1,N-1}$.

Оптимальное число кластеров, а, значит, и фактических (скрытых) состояний $Q_i\left(i=\overline{1,K}\right)$ в модели Маркова временного ряда (4), оказалось равным 3. Результаты кластерного анализа приведены на рис. 4.

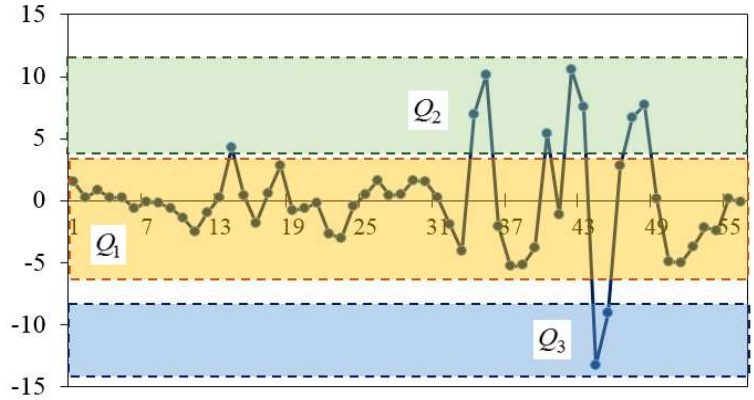


Рисунок 4. Результаты кластерного анализа временного ряда первых разностей.

Анализ графика временного ряда первых разностей, построенного по

результатам кластерного анализа (представлен на рис. 3), дал возможность остановиться на построении 3×3 – модели СММ, где количество символов алфавита V также равно 3, то есть $V=\{V_1,V_2,V_3\}$. Для создания алфавита V в случае трех скрытых состояний системы воспользовались следующей традиционной терминологией: V_1 – «флэт», V_2 – «рост», V_3 – «падение».

Для определения начального распределения связей между состояниями $Q_i\left(i=\overline{1,3}\right)$ модели цепи Маркова была принята гипотеза о зависимости возможностей переходов между состояниями модели от соответствующих расстояний между ними. Используя данные об евклидовых расстояниях между центрами кластеров, определили возможности переходов между состояниями и их направления:

Шаг 1. Устанавливается возможность перехода для пары состояний, если их центры находятся на минимальном расстоянии или превышают его не более чем на заданный процент. На практике обычно выбирают 50 %-й порог.

Шаг 2. Направление переходов между состояниями определяется в соответствии с близостью к начальному состоянию Q_1 : переход $Q_i\to Q_j$ возможен, если число переходов $Q_1\to Q_j$ больше числа переходов $Q_1\to Q_i$. Если направление не определяется однозначно, то допускаются оба варианта направления: Q_i □ Q_j.

Следует заметить, что в построенной по таким правилам модели цепи Маркова допускаются косвенные и статистически незначимые связи. Поэтому следует провести уточнение схемы, например, с использованием статистики Пирсона.

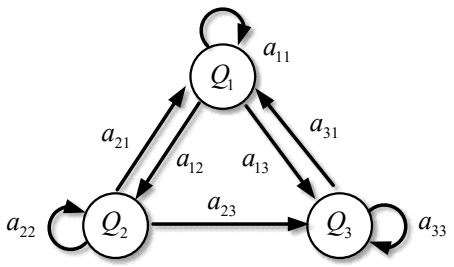
Наличие начального распределения связей дает возможность для скрытых состояний $Q_i\left(i=\overline{1,3}\right)$ составить матрицу переходных вероятностей $A=\left\|a_{ij}\right\|$, где $a_{ij}=P\left\{q_{t+1}=Q_j\middle|q_t=Q_i\right\}$, $\left(t=\overline{1,N},\ i,j=\overline{1,3}\right)$; q_t – состояние системы в момент

времени t. Матрица $A = \left\| a_{ij} \right\|$ и граф модели Маркова представлены на рис. 5

Распределение вероятностей начального состояния – $\pi = \{\pi_1, \pi_2, \pi_3\}$ – в случае ряда (4) имеет вид: $\pi = \{1, 0, 0\}$. Построение алфавита V проведено по результатам кластерного анализа, который дал возможность сформировать матрицу $B = \left\| b_i(m) \right\|$ вероятностей появления символов $V_m \left(m = \overline{1,3} \right)$ алфавита V в состоянии $Q_i \left(i = \overline{1,3} \right)$.

$$A = \begin{pmatrix} \frac{40}{45} & \frac{5}{45} & 0 \\ \frac{4}{8} & \frac{3}{8} & \frac{1}{8} \\ \frac{1}{2} & 0 & \frac{1}{2} \end{pmatrix}$$

а



б

Рисунок 5. *а* – матрица переходных вероятностей; *б* – граф скрытой модели Маркова.

Построенная СММ для ряда (4) первых разностей опирается на два предположения, обусловленные стационарностью этого ряда. Во-первых, текущее состояние модели q_t зависит лишь от предыдущего состояния q_{t-1}. И, во-вторых, вероятность появления некоторого наблюдения $o(t+1)$ в следующий момент времени зависит только от текущего состояния системы q_t и не зависит от предыдущих состояний. Из рис. 5 видно, что $q_t = q_{56} = Q_1$. Тогда наиболее вероятным состоянием $o(t+1)$ системы будет такой прогнозный результат: $a_{11} = P\left\{ q_{57} = Q_1 \middle| q_{56} = Q_1 \right\} = \frac{8}{9}$. Вероятность наблюдения, например, такой цепочки состояний: $O : Q_1 \to Q_1 \to Q_2$ вычисляется таким образом: $p(O) = P\left\{ q_{59} = Q_2 \middle| q_{58} = Q_1, q_{57} = Q_1 \right\} = \frac{8}{9} \cdot \frac{8}{9} \cdot \frac{1}{9} = \frac{64}{729} \approx 0{,}088$.

DOI 10.46299/ISG.2021.MONO.TECH.II-330-338

3.7 Інформаційно-розрахункова система підтримки прийняття рішення "Аргумент - 2021"

Інформаційно-розрахункова система “Аргумент–2021” призначена для підтримки прийняття рішення командиром частини ЗРВ при виборі бойового порядку частин та підрозділів ЗРВ і оцінки ефективності бойових дій угруповання ЗРВ яке створено.

Програмне забезпечення інформаційно-розрахункової системи забезпечує: відображення тактичної обстановки угруповання ЗРВ та військ що прокриваються на цифрової карті; розрахунок кутів закриття і побудова профілів місцевості; розрахунок зони радіолокаційної видимості радіоелектронних засобів з урахуванням рельєфу місцевості; розрахунок зон поразки ЗРК (вогню) на заданих користувачем висотах дій повітряного противника; розрахунок кратності перекриття реалізованих зон поразки; розрахунок кількості стрільб ЗРК до рубежів виконання бойових завдань; розрахунок маневрених можливостей частин і підрозділів ЗРВ; оцінка ефективності бойових дій частин та підрозділів ЗРВ.

До вхідної інформації (дані для ініціалізації програми) відноситься наступна: район на карті в якому розміщуються угруповання ППО та параметри відображення карти; цифрова модель місцевості; бойовій склад, озброєння частин та підрозділів ППО; бойовій порядок угруповання ППО; тактико технічні характеристики озброєння ППО; бойовій склад, озброєння частин та підрозділів противника; параметрі нальотів засобів повітряного нападу.

Структура інформаційно-розрахункової системи "АРГУМЕНТ 2021" наведена на рис. 1.

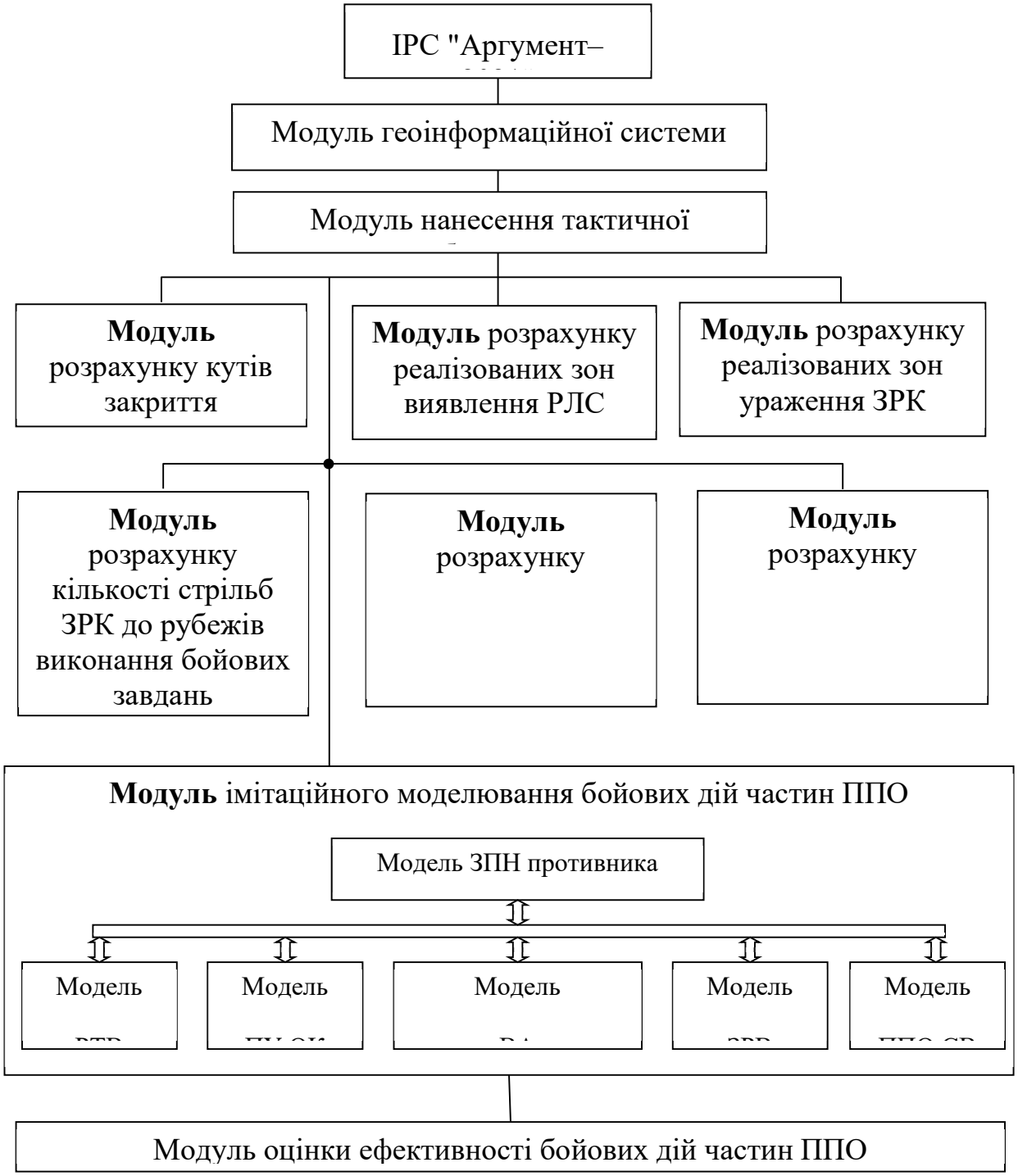


Рис. 1 Структура інформаційно-розрахункової системи

Вихідною інформацією інформаційно-розрахункової системи є: відображення тактичної обстановки угруповання ЗРВ та військ що прокриваються на цифрової карті; розрахунок кутів закриття і побудова профілів місцевості; графічне зображення реалізованих зон виявлення РЛС з урахуванням рельєфу місцевості; графічне зображення реалізованих зон ураження ЗРК РЛС з

урахуванням рельєфу місцевості; розрахунок кратності перекриття реалізованих зон поразки; розрахунок кількості стрільб ЗРК до рубежів виконання бойових завдань; результати моделювання бойових дій угруповання ППО у вигляді таблиць; оцінка ефективності бойових дій частин та підрозділів ППО.

В програмних модулях системи використовується наступний математичний апарат [240]: алгоритм розрахунку кутів закриття; алгоритм розрахунку реалізованих зон виявлення РЛС, з урахуванням рельєфу місцевості; алгоритм розрахунку реалізованих зон ураження ЗРК, з урахуванням рельєфу місцевості; алгоритм розрахунку кількості стрільб ЗРК до рубежів виконання бойових завдань; алгоритм оцінки показників ефективності застосування міжвидових (різнорідних) сил і засобів ППО ОК; алгоритм знаходження найкоротшого маршруту при русі по автошляхам.

При моделюванні відбиття одного повітряного удару по об’єктах (військах) маємо наступні показники (виміри):

а) $N_{BA_{j,i}}$, $i = \overline{1, n_{BA}}$ – кількість перехватів, що здійснив і-тий винищувач при j-ій реалізації процесу відбиття повітряного удару; n_{BA} – кількість винищувачів, що задіяні в прикритті об’єктів (військ) при відбитті повітряного удару;

б) $N_{ЗРВ_{j,i}}$, $i = \overline{1, n_{ЗРВ}}$ – кількість стрільб, що здійснив і-тий зенітний ракетний підрозділ (вогнева одиниця) при j-тій реалізації процесу відбиття повітряного удару; $n_{ЗРВ}$ – кількість зенітних ракетних підрозділів (вогневих одиниць), що задіяні в прикритті об’єктів (військ) при відбитті повітряного удару;

в) $N_{ППО\ СВ_{j,i}}$, $i = \overline{1, n_{ППО\ СВ}}$ – кількість стрільб, що здійснив і-тий підрозділ (вогнева одиниця) ППО СВ при j-тій реалізації процесу відбиття повітряного удару; $n_{ППО\ СВ}$ – кількість підрозділів (вогневих одиниць) ППО СВ, що задіяні в прикритті об’єктів (військ) при відбитті повітряного удару;

г) $Q_{BA_{j,i}}$, $i=\overline{1, n_{BA}}$ – кількість знищених ЗПН і-тим винищувачем при j-тій реалізації процесу відбиття повітряного удару;

д) $Q_{ЗРВ_{j,i}}$, $i=\overline{1, n_{ЗРВ}}$ – кількість знищених ЗПН і-тим зенітним ракетним підрозділом (вогневою одиницею) при j-тій реалізації процесу відбиття повітряного удару;

е) $Q_{ППО\ СВ_{j,i}}$, $i=\overline{1, n_{ППО\ СВ}}$ – кількість знищених ЗПН і-тим підрозділом (вогневою одиницею) ППО СВ при j-тій реалізації процесу відбиття повітряного удару;

ж) $U_{BA_{j,i}}$, $i=\overline{1, n_{BA}}$ – ознака знищення і-го винищувача при j-тій реалізації процесу відбиття повітряного удару;

и) $U_{ЗРВ_{j,i}}$, $i=\overline{1, n_{ЗРВ}}$ – ознака знищення і-го зенітного ракетного підрозділу (вогневої одиниці) при j-ій реалізації процесу відбиття повітряного удару;

к) $U_{ППО\ СВ_{j,i}}$, $i=\overline{1, n_{ППО\ СВ}}$ – ознака знищення і-го підрозділу (вогневої одиниці) ППО СВ при j-тій реалізації процесу відбиття повітряного удару;

л) $U_{РТВ_{j,i}}$, $i=\overline{1, n_{РТВ}}$ – ознака знищення і-го засобу РТВ при j-ій реалізації процесу відбиття повітряного удару; $n_{РТВ}$ – кількість засобів РТВ, що задіяні в наданні РЛІ для прикриття об’єкту (військ) при відбитті повітряного удару;

м) $U_{ПНА_{j,i}}$, $i=\overline{1, n_{ПНА}}$ – ознака знищення і-го пункту наведення авіації (ПНА) при j-тій реалізації процесу відбиття повітряного удару; $n_{ПНА}$ – кількість ПНА, що задіяні в наданні винищувачів на ЗПН для вирішення завдання прикриття об’єкту (військ) при відбитті повітряного удару;

н) $U_{КП\ ОК_j}$ – ознака знищення пункту управління (ПУ) авіації та ППО командного пункту (КП) оперативного командування (ОК), при j-тій реалізації процесу відбиття повітряного удару;

п) $U_{ОБ_{j,i}}$, $i=\overline{1, n_{ОБ}}$ – ознака нанесення удару по і-му об'єкту (військам), що прикривається, при j-ій реалізації процесу відбиття повітряного удару.

Ознаки ж)-н) можуть приймати два значення $U_{j,i}=0$ – і-тий засіб не знищений, $U_{j,i}=1$ – і-тий засіб знищений при j-тій реалізації процесу відбиття повітряного удару. Ознака о) може приймати два значення $U_{ОБ_{j,i}}=0$ – удар по і-му об'єкту (військам) не нанесено, $U_{ОБ_{j,i}}=1$ – нанесено удар по і-му об'єкту (військам) при j-ій реалізації процесу відбиття повітряного удару.

Загальна кількість перехватів, здійснених силами та засобами ВА при j-ій реалізації процесу відбиття повітряного удару по об'єктах (військах) визначається наступним чином:

$$N_{BA_j}=\sum_{i=1}^{n_{BA}} N_{BA_{j,i}} . \quad (1)$$

Загальна кількість стрільб, здійснених силами та засобами ЗРВ при j-тій реалізації процесу відбиття повітряного удару по об'єктах (військах) визначається наступним чином:

$$N_{ЗРВ_j}=\sum_{i=1}^{n_{ЗРВ}} N_{ЗРВ_{j,i}} . \quad (2)$$

Загальна кількість стрільб, здійснених силами та засобами ППО СВ при j-тій реалізації процесу відбиття повітряного удару по об'єктах (військах) визначається наступним чином:

$$N_{ППО\,СВ_j}=\sum_{i=1}^{n_{ППО\,СВ}} N_{ППО\,СВ_{j,i}} . \quad (3)$$

Загальна кількість впливів по ЗПН за підрозділи ВА, ЗРВ, ППО СВ при j-ій реалізації процесу відбиття повітряного удару по об'єктах (військах) визначається наступним чином:

$$N_{\Sigma_j}=N_{BA_j}+N_{ЗРВ_j}+N_{ППО\,СВ_j} . \quad (4)$$

Оцінка загальної кількості впливів по ЗПН за підрозділи ВА, ЗРВ, ППО СВ

визначається як середнє арифметичне:

$$N_{\Sigma} = \frac{1}{m}\sum_{j=1}^{m} N_{\Sigma_j}, \tag{5}$$

де m – кількість реалізацій процесу відбиття повітряного удару по об’єктах (військах).

Загальна кількість знищених ЗПН силами та засобами ВА при j-тій реалізації процесу відбиття повітряного удару по об’єктах (військах) визначається наступним чином:

$$Q_{BA_j} = \sum_{i=1}^{n_{BA}} Q_{BA_{j,i}}. \tag{6}$$

Загальна кількість знищених ЗПН силами та засобами ЗРВ при j-ій реалізації процесу відбиття повітряного удару по об’єктах (військах) визначається наступним чином:

$$Q_{ЗРВ_j} = \sum_{i=1}^{n_{ЗРВ}} Q_{ЗРВ_{j,i}}. \tag{7}$$

Загальна кількість знищених ЗПН силами та засобами ППО СВ при j-тій реалізації процесу відбиття повітряного удару по об’єктах (військах) визначається наступним чином:

$$Q_{ППО\,СВ_j} = \sum_{i=1}^{n_{ППО\,СВ}} Q_{ППО\,СВ_{j,i}} \tag{8}$$

Загальна кількість знищених ЗПН підрозділами ВА, ЗРВ, ППО СВ при j-ій реалізації процесу відбиття повітряного удару по об’єктах (військах) визначається наступним чином:

$$Q_{\Sigma_j} = Q_{BA_j} + Q_{ЗРВ_j} + Q_{ППО\,СВ_j}. \tag{9}$$

Оцінка математичного очікування кількості знищених ЗПН підрозділами ВА, ЗРВ, ППО СВ визначається як середнє арифметичне:

$$M_{Ц\Sigma} = \frac{1}{m}\sum_{j=1}^{m} Q_{\Sigma_j}. \tag{10}$$

Загальна кількість знищених винищувачів при j-ій реалізації процесу відбиття повітряного удару по об’єктах (військах) визначається наступним чином:

$$U_{ВА_j} = \sum_{i=1}^{n_{ВА}} U_{ВА_{j,i}} \ . \qquad (11)$$

Загальна кількість знищених зенітних ракетних підрозділів при j-ій реалізації процесу відбиття повітряного удару по об’єктах (військах) визначається:

$$U_{ЗРВ_j} = \sum_{i=1}^{n_{ЗРВ}} U_{ЗРВ_{j,i}} \ . \qquad (12)$$

Загальна кількість знищених підрозділів ППО СВ при j-ій реалізації процесу відбиття повітряного удару по об’єктах (військах) визначається наступним чином:

$$U_{ППО\ СВ_j} = \sum_{i=1}^{n_{ППО\ СВ}} U_{ППО\ СВ_{j,i}} \ . \qquad (13)$$

Загальна кількість знищених засобів РТВ при j-ій реалізації процесу відбиття повітряного удару по об’єктах (військах) визначається наступним чином:

$$U_{РТВ_j} = \sum_{i=1}^{n_{РТВ}} U_{РТВ_{j,i}} \ . \qquad (14)$$

Загальна кількість знищених ПНА при j-ій реалізації процесу відбиття повітряного удару по об’єктах (військах) визначається наступним чином:

$$U_{ПНА_j} = \sum_{i=1}^{n_{ПНА}} U_{ПНА_{j,i}} \ . \qquad (15)$$

Загальна кількість знищених своїх засобів ВА, ЗРВ, ППО СВ, РТВ, ПУ авіації та ППО КП ОК при j-тій реалізації процесу відбиття повітряного удару по об’єктах (військах) визначається наступним чином:

$$U_{\Sigma_j} = U_{ВА_j} + U_{ЗРВ_j} + U_{ППО\ СВ_j} + U_{РТВ_j} + U_{ПНА_j} + U_{КП\ ОК_j} \ . \qquad (16)$$

Оцінка математичного очікування кількості знищених своїх засобів ВА, ЗРВ, ППО СВ, РТВ, ПУ авіації та ППО КП ОК визначається як середнє арифметичне:

$$M_{П\Sigma} = \frac{1}{m}\sum_{j=1}^{m} U_{\Sigma_j} \quad .(17)$$

Оцінка імовірності прикриття і-го об’єкту (військ) визначається як:

$$P_{ОБ_i} = 1 - \frac{1}{m}\sum_{j=1}^{m} U_{ОБ_{j,i}} \ . \quad (18)$$

Оскільки оцінки показників ефективності (5), (10), (17), (18) отримуються статистичними методами, то їх точність і достовірність залежать від кількості m реалізацій процесу відбиття повітряного удару по об’єктах (військах).

Таким чином, якщо задана точність і достовірність, які повинні бути досягнені при оцінці показників ефективності, то необхідна для цього кількість m реалізацій процесу відбиття повітряного удару по об’єктах (військах) може бути знайдена як мінімальна кількість (але не менше 10), при якій виконується комплексна умова:

$$\begin{cases} m \geq 10; \\ \Phi\left(\dfrac{\Delta N}{\sqrt{\dfrac{D_N}{m}}}\right) \leq \dfrac{\gamma}{2} \cap \Phi\left(\dfrac{\Delta M_Ц}{\sqrt{\dfrac{D_{M_Ц}}{m}}}\right) \leq \dfrac{\gamma}{2} \cap \Phi\left(\dfrac{\Delta M_П}{\sqrt{\dfrac{D_{M_П}}{m}}}\right) \leq \dfrac{\gamma}{2}, \end{cases} \quad (19)$$

де $\Phi(\bullet)$ – функція Лапласа; ΔN , $\Delta M_Ц$, $\Delta M_П$ – задана точність оцінок відповідних показників; $D_N \neq 0$, $D_{M_Ц} \neq 0$, $D_{M_П} \neq 0$ – дисперсії оцінок відповідних показників; γ – задана достовірність оцінок показників.

Дисперсії оцінок D_N, $D_{M_Ц}$, $D_{M_П}$ відповідних показників визначаються наступним чином:

$$\begin{cases} D_N = \dfrac{1}{m-1}\sum\limits_{j=1}^{m}\left(\left(N_{\Sigma_j} - N_{\Sigma}\right)^2\right); \\ D_{M_Ц} = \dfrac{1}{m-1}\sum\limits_{j=1}^{m}\left(\left(Q_{\Sigma_j} - M_{ЦΣ}\right)^2\right); \\ D_{M_П} = \dfrac{1}{m-1}\sum\limits_{j=1}^{m}\left(\left(U_{\Sigma_j} - M_{ПΣ}\right)^2\right). \end{cases} \tag{20}$$

На мінімальну кількість реалізацій процесу відбиття повітряного удару по об’єктах (військах) m також впливає умова:

$$\begin{cases} D_N \neq 0; \\ D_{M_Ц} \neq 0; \\ D_{M_П} \neq 0, \end{cases} \tag{21}$$

оскільки дисперсії оцінок відповідних показників містяться в знаменниках (19).

Тобто при проведенні моделювання відбиття повітряних ударів по об’єктах (військах) необхідно збільшувати кількість реалізацій m до тих пір (не менше 10) поки не буде виконана умова (21), а потім перевіряти виконання умови (19).

Інформаційно-розрахункова система "АРГУМЕНТ 2021" використовується в штабах Повітряних Сил, штабі зенітної ракетної бригади (полку), командному пункти зенітного ракетного дивізіону для підтримки прийняття рішення на бойові дії, а також є інтерактивною і часових обмежень на її роботу не існує.

SECTION 4. ELECTRICAL ENGINEERING

DOI 10.46299/ISG.2021.MONO.TECH.II-339-351

4.1 Determination of the influence of primary fuel consumption on the assessment of suboptimality of generation and consumption schedules

Microgrids contain all the elements of complex energy systems and maintain a balance between production and consumption. Microgrids can work both in autonomous mode and in connection with the general network [241, 242]. A typical Microgrid structure diagram has a point of electrical connection to the power supply system, which is called a point of common coupling (PCC). In general, Microgrid is an intelligent power system with an active-adaptive network, which means a system in which all actors in the power market (generation, network, consumers) take an active part in the processes of transmission and distribution of electricity. Given the rapid development of Microgrids as part of the general power supply system, it is necessary to choose the optimal technologies for its composition, such as wind and solar power plants, micro hydroelectric power plants, micro gas turbines, fuel cells, batteries and others. It is necessary to assess the cost of generation of all sources, as well as the feasibility of using each of them in a certain period of the system. In general, the costs include: initial investments, operating costs, fuel costs, external and liquidation costs. The cost of electricity production depends solely on the type of technology and fuel [243].

Determination of the output power in Microgrids with DG sources.

It is almost impossible to provide power supply of the decentralized facilities only by means of renewable energy sources (RES) such as wind power plants (WPP) and solar power plants (SPP). Their potential varies significantly during the day and usually do not correspond to seasonal and daily changes in energy consumption schedules. However, with the creation of a combined electric power system (CEPS), which will include several heterogeneous sources of electricity based on RES, it is possible to achieve a significant reduction in the daily unevenness of electricity generation [241, 242].

Obviously, a combination of two or more renewable energy sources is more efficient than a single source system in terms of cost, efficiency and reliability. Such systems are becoming the fastest growing market element in the world. As a result, the use of wind and solar photovoltaic energy generation may soon be a reality. However, other sources of renewable energy (generation technologies), such as ocean waves and tides, osmotic and geothermal energy, fuel cells and microturbines should not be overlooked [244, 245]. The most optimal is the combination of an unstable renewable energy source with a guaranteed supply source – diesel power plant (DPP), that allows to build sufficiently reliable power complexes which can provide power to various decentralized facilities [246, 247].

A variant of the energy complex with two power sources, each of which is able to cover the loads in certain time intervals, is characterized by the maximum possibilities for replacing diesel generation with renewable energy. Reducing the operating time of the diesel part of the power complex provides the most savings of diesel fuel and increases the service life of the DPP.

Joint work of DPP and RES in the autonomous power supply system is most rationally carried out as the work of wind and photovoltaic power plants on the electric network which support the diesel power plant. DPP in this case is considered as the main source of electricity, and renewable energy sources save part of the fuel. After all, there are no primary fuel costs for SPP and WPP plants. For stable operation of such a system, the instantaneous power of the renewable part of the power complex should not exceed 40–50% of the overall power of the plant, and the ratio of average values of power of the renewable and diesel parts of the hybrid power complex should be approximately 1/5.

Such complexes are quite simple, this reduces the requirements for the control system and minimizes the composition of the equipment. But at the same time, such plants provide a relatively small amount of diesel generation.

The relationship between input parameters and output power for each type of generation is different. Thus, the instantaneous power of a wind turbine with a horizontal axis of rotation can be determined by the formula [247]:

$$P_{WPP} = \frac{1}{2} \cdot \rho_{\text{п}} \cdot \pi \cdot R^2 \cdot u^3 \cdot C_p(\lambda) \cdot \eta_{m.t.} \cdot \eta_{\text{e.g.}}, \quad (1)$$

where P_{WPP} – electric power generated by WPP; $\rho_{\text{п}}$ – air density; R is the radius of the windmill; u is the wind speed; $C_{\text{p}}(\lambda)$ – wind power factor; $\eta_{\text{m.t.}}$ – efficiency of mechanical transmission; $\eta_{\text{e.g.}}$ – efficiency of the generator.

The value of the power factor C_{p} depends on the speed of the wind wheel λ, which is defined as the ratio of the linear speed of the blade ends to the wind speed. For each specific design type of wind wheel there is a dependence $C_{\text{p}}(\lambda)$, which reaches a maximum value at a certain optimal value of speed. In this case, the selection of power from the wind flow will be maximum.

The main condition for the efficient use of wind energy is the compliance of wind speed and speed of the wind wheel. Changing the wind speed requires a correspondingly wide range of changes in the speed of rotation of the generator shaft. This dependence is established by the value of speed, which relates to the design of the wind wheel. An alternative is to maintain a stable speed (or a very narrow range) of the generator rotor.

However, much of the wind energy will remain unused, which reduces the efficiency of such installations. Under these conditions, the determining factor for the wind turbine generator is the permissibility of changing the speed range provided that the parameters of the generated electricity are synchronized with the corresponding network parameters [247]. The components that determine the generated power are: average annual wind speed, annual and daily wind course; radius of the wind wheel and its power factor; installation height; nominal speed of the turbine; technical characteristics of the installation; repeatability of speeds, types and parameters of wind speed distribution functions; vertical profile of average wind speed; specific power and specific wind energy; wind energy resources of the region.

To obtain reliable data on the average wind speed in a given area, it is necessary to use significant amounts of measurements for a long time. The average annual wind speed is defined as the arithmetic mean value obtained from speed measurements at regular intervals over a period of time [242]:

$$V_{\text{cp}} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} V_i, \quad (2)$$

where V_i – wind speed in the measurement interval i; n – number of measurement intervals.

Given the generation of electricity from solar energy, the power generated by solar panels is determined by the formula [246]:

$$P_{sp} = N_{\text{series}} \cdot N_{\text{paralel}} \cdot U_{\text{x.x.}} \cdot I_{s.c.} \cdot F_f, \quad (3)$$

where P_{sp} – electric power generated by solar panels; N_{series} – the number of photovoltaic cells connected in series; N_{paralel} – the number of photovoltaic cells connected in parallel in the battery; $U_{\text{x.x.}}$ – the value of the non-operating voltage; $I_{\text{s.c.}}$ – short-circuit current value; F_{f} – the filling factor of the volt-ampere characteristic for a particular type of photovoltaic cell.

The main parameters that determine the amount of generated power are: the number of photovoltaic modules, their rated power, the level of insolation in the region of installation of SPP and weather conditions, as well as technical indicators of installation. An important element of the SPP is a voltage converter, which converts direct current from photovoltaic modules into an AC voltage system of industrial frequency, which creates the possibility for SPP to operate in parallel with electrical network. It should be noted that most of the modern solar converters have a function of tracking the point of maximum power, which can be selected from solar panels (MPPT-tracking), which significantly increases the efficiency of SPP. In general, there are different converters depending on the classification: network, stand-alone, hybrid; central, microconverters, string converters; sinusoidal type converters and converters with a modified sinusoid.

Network converters which have the function of automatic synchronization of electricity parameters (voltage amplitude, frequency, etc.) with similar parameters of the electrical network are usually used to build CEPS which include SPP.

At the same time, to ensure the sinusoidal shape of the output voltage, it is necessary to use network converters for SPP, which are part of CEPS [247].

The level of solar radiation depends on the latitude of a point on the earth's surface, its height above the sea level, seasons and days, the transparency of the atmosphere and clouds. Natural heliopotential is characterized by the total solar radiation reaching the horizontal surface and the duration of sunshine throughout the year. If the surface that receives solar radiation is tilted at the optimal angle, the amount of solar radiation that can be used will increase. The maximum value will be reached when the surface of the panels is perpendicular to the sun's rays, as well as their orientation relative to the visible position of the Sun. This increases the amount of solar radiation in summer by 25–40% and in winter by 10–15%. Most often in practice, the angle of inclination of the working surfaces of photovoltaic modules is oriented to the south and is taken equal to the latitude of the terrain: such an inclination is considered optimal and the most technically feasible. The amount of energy received can be optimized with additional installation of sun trackers.

For normal operation of a diesel power plant, it is recommended that its rated capacity should be 25% higher than the capacity of all appliances that it supplies. In contrast to SPP and WPP, primary fuel costs are incurred in the operation of DPP.

Based on the data provided by the application "Diesel generator fuel consumption calculator", the dependence of the average fuel consumption B, (l/year) on the power of the diesel generator P, (kW) for three values of the average load on the generator 50%, 75%, 100% was constructed.

There are several methods when calculating fuel consumption for diesel generators. The specific fuel consumption b from the calculation of the power of the diesel installation can be represented by an approximate ratio [248]:

$$b = \frac{(g_e \cdot H \cdot C)}{\eta_\Gamma} + b_0, \tag{4}$$

where g_e – specific fuel consumption at nominal power of 75%; H – load-taking factor; C – engine wear factor; η_Γ – efficiency coefficient of the diesel generator depending on an operating mode; b_0 – fuel loss at idle.

Estimation of suboptimality of generation and consumption schedules.

For the optimal use of different energy sources in Microgrid, it is important to estimate the level of losses from uneven electricity consumption. To do this, it is necessary to analyze the schedules of electricity generation. This approach can take fully into account the limited controlled energy resources in conditions of uncertainty.

It is possible to estimate the level of losses with the identification of the effects of suboptimal components in the power supply system at an arbitrary time interval using the Fryze power index [249]

$$Q_F = \sqrt{S^2 - P^2}. \quad (5)$$

In the general case, the Fryze power is the quadratic residual of the total S and active P powers. In the case of spreading the concept of Fryze power Q_F at any time interval $\tau = T_T$ power $Q_{F\tau}$ determines as the root mean square mismatch between suboptimal ($S > P$) and optimal ($S = P$) active power load consumption levels.

From a mathematical point of view, power $Q_{F\tau}$ is the root mean square mismatch between two functions on an interval τ. The term «non-optimality characteristic» can be used when we consider one of the functions as optimal (in this case it is the function of active power consumption).

When the indicator extends to an arbitrary time interval, the obtained characteristics show that with increasing or decreasing consumption deviations relative to the conditionally optimal level, the value of the reactive power of the Fryze index increases. There is also a tendency to increase the value of the Fryze index to increasing consumption intervals. The obtained characteristics make it possible to assess the impact of uneven processes of electricity generation and consumption on the deterioration of electricity quality, reactive power level and network losses.

The amount of active power is determined by the formula:

$$p(t) = i(t) \cdot u(t). \quad (6)$$

Applying the integrated averaging index, we obtain:

$$P(t) = \frac{1}{T} \int_0^t p(t) dt. \quad (7)$$

Accordingly, the power value for a certain time interval can be calculated as:

$$P = I_{av} \cdot U_{av} = I \cdot U,$$

where $u(t)$ and $i(t)$ are instantaneous values of voltage and current for the period [0, T]; T – the duration interval of the selected time interval.

To analyze the change in the reactive power of the Fryze index Q_F relative to time, it is necessary to determine the optimal values of voltage and current that characterize the generation power. General formula for determining the amount of energy of the generated power for the time interval:

$$W_E = \int_{t_0}^{t} P(t)dt. \tag{8}$$

In our case, the amount of energy of the generated power is determined for a known dependence graph *P(t)* and for a certain period of time:

$$W_E = \frac{P_1 + P_2}{2}(t_2 - t_1), \tag{9}$$

where P_1, P_2 – generated power at the beginning and end of a given time interval, respectively, t_1, t_2 – the start and the end time of a given interval respectively.

To reflect the numerical calculations in the general case, we construct a numerical-difference approximation. Figure 1 shows an example of a linear change in the generated power relative to time.

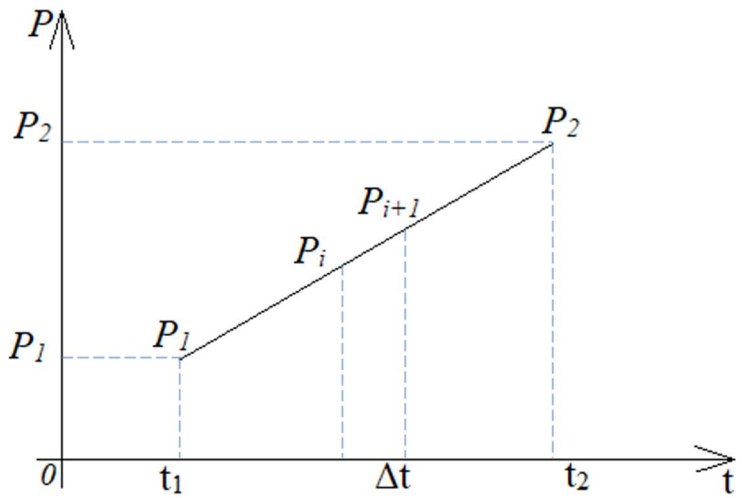


Figure 1. Schedule of the dependence of the generated power from time.

Power value for a given time interval is:

$$P_2 = P_1 + \alpha_P(t_2 - t_1),$$

where α_P is a coefficient of linear dependence function *P(t)*.

The energy of the generated power is defined as:

$$W_E = 2\frac{P_1 + \alpha_P \cdot (t_2 - t_1)}{2}(t_2 - t_1) = P_1(t_2 - t_1) + \frac{\alpha_P (t_2 - t_1)^2}{2}.$$

The assessment of the level of primary fuel loss is also carried out taking into account that the function of active power consumption is considered optimal, while the function of full power is suboptimal. Figure 2 shows a dependence schedule of fuel consumption *B* from the generated power *P* for a previously set power schedule.

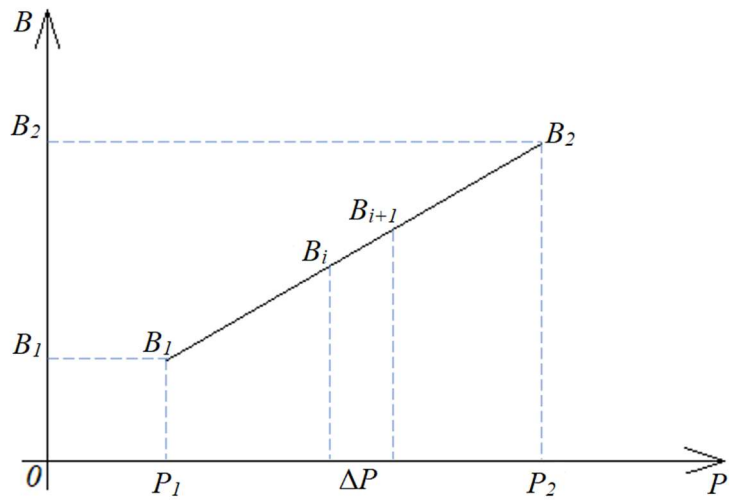


Figure 2. Schedule of the dependence of fuel consumption from the generated power.

Estimation of primary fuel consumption

General formula for determining the energy of spent fuel for a time interval is:

$$W_F = \int_{t_0}^{t} B(P(t), t)dt. \quad (10)$$

The energy of spent fuel at a given interval (Fig. 1) is calculated by the formula:

$$W_F = \frac{B_1 + B_2}{2}(P_2 - P_1), \quad (11)$$

where B_1, B_2 – fuel consumption at the beginning and end of a given time interval, respectively.

The amount of fuel consumed is estimated by the formula:

$$B_2 = B_1 + \alpha_B(P_2 - P_1),$$

where α_B – the coefficient of the linear function of the dependence of fuel consumption on power. The energy of the spent fuel is calculated as follows:

$$W_F = 2\frac{B_1 + \alpha_B \cdot (P_2 - P_1)}{2}(P_2 - P_1) = B_1(P_2 - P_1) + \frac{\alpha_B(P_2 - P_1)^2}{2}.$$

To determine the values *P(t)* and *B(P)* when they are linearly dependent from any point on the graph of the generated power, the above formulas take the form:

$$P = P_1 + \alpha_P(t - t_1);$$

$$B = B_1 + \alpha_B(P - P_1) = B_1 + \alpha_B\alpha_P(t - t_1);$$

$$W_E = \int_{t_1}^{t}(P_1 + \alpha_P(t - t_1))dt;$$

$$W_F = \int_{t_1}^{t}(B_1 + \alpha_B\alpha_P(t - t_1))dt.$$

For $i + 1$ values:

$$P_{i+1} = P_i + \alpha_P \cdot \Delta t;$$

$$B_{i+1} = B_i + \alpha_B \cdot \Delta P.$$

Examples of the dependence of generated power from time and fuel consumption for generated power for different generation schedules *P(t)* are shown in Table 1 and Figure 3. The schedules in Figure 3 shows the possible variants of the dependence functions *P(t)* where on the 1st – the value of power is constant and does not depend on time, on the 2nd – the dependence is linear, on the 3rd – the dependence is quadratic, on the 4th – possible peak of generation is shown, which is exponential. The image of such dependences makes it possible to calculate the energy of the generated power. And also, to determine the nature of the dependence of fuel consumption from capacity.

Table 1.

P(t) and *B(P)* dependencies for different generation schedules.

№	Function	*P(t)* and *B(P)*	W_E and W_F
1	$P=P_i$	$P(t) = P_1$ $B(P) = \alpha_B \cdot P_1$	$W_E = \int_{t_1}^{t_2} (P_1)dt = P_1(t_2 - t_1);\ W_F = \frac{B_1 + B_2}{2} \cdot P_1$
2	$P=A+Bt$	$P(t) = P_1 + \alpha_P(t - t_1)$ $B(P) = B_1 + \alpha_B(P - P_1)$ $B(t) = B_1 + \alpha_B\alpha_P(t - t_1)$	$W_E = \int_{t_1}^{t_2} (P_1 + \alpha_P(t - t_1))dt = P_1(t_2 - t_1) + \frac{\alpha_P(t_2 - t_1)^2}{2}$ $W_F = \int_{t_1}^{t_2} (B_1 + \alpha_B\alpha_P(t - t_1))dt = B_1(t_2 - t_1) + \frac{\alpha_B\alpha_P(t_2 - t_1)^2}{2}$
3	$P=C+Dt^2$	$P(t) = P_1 + \alpha_P(t - t_1)^2$ $B(P) = B_1 + \alpha_B(P - P_1)$ $B(t) = B_1 + \alpha_B\alpha_P(t - t_1)^2$	$W_E = \int_{t_1}^{t_2} (P_1 + \alpha_P(t - t_1)^2)dt = P_1(t_2 - t_1) + \frac{\alpha_P(t_2 - t_1)^3}{3}$ $W_F = \int_{t_1}^{t_2} (B_1 + \alpha_B\alpha_P(t - t_1)^2)dt = B_1(t_2 - t_1) + \frac{\alpha_B\alpha_P(t_2 - t_1)^3}{3}$
4	$P'=F(1-e^{-t})$ $P''=Ge^{-t}$	$P'(t) = F(1 - e^{-\beta_1 t})$ $B'(t) = \alpha_{B_1}F^2\left(1 - e^{-\beta_1 t}\right)^2 = = \alpha_{B_1} \cdot F^2(1 - 2e^{-\beta_1 t} + +e^{-2\beta_1 t})$ $P''(t) = Ge^{-\beta_2 t}$ $B''(t) = \alpha_{B_2} \cdot G^2 e^{-2\beta_2 t}$	$W'_E = \int_{t_1}^{t_2} F\left(1 - e^{-\beta_1 t}\right)dt = F(e^{-\beta_1 t_2} - e^{-\beta_1 t_1})$ $W''_E = \int_{t_3}^{t_4} Ge^{-t}dt = G(e^{-\beta_2 t_4} - e^{-\beta_2 t_3})$ $W'_F = \int_{t_1}^{t_2} \alpha_{B_1} \cdot F^2\left(1 - 2e^{-\beta_1 t} + e^{-2\beta_1 t}\right)dt =$ $=\alpha_{B_1} \cdot F^2(t_2 - 2e^{-\beta_1 t_2} + e^{-2\beta_1 t_2} - t_1 + 2e^{-\beta_1 t_1} - e^{-2\beta_1 t_1})$ $W''_F = \int_{t_3}^{t_4} \alpha_{B_2} \cdot G^2(e^{-2\beta_2 t})dt = \alpha_{B_2} \cdot G^2(e^{-2\beta_2 t_4} - e^{-2\beta_2 t_3})$

A, B, C, D – constant components, namely the corresponding coefficients for the functions that determine the generation graphs (different for each case).

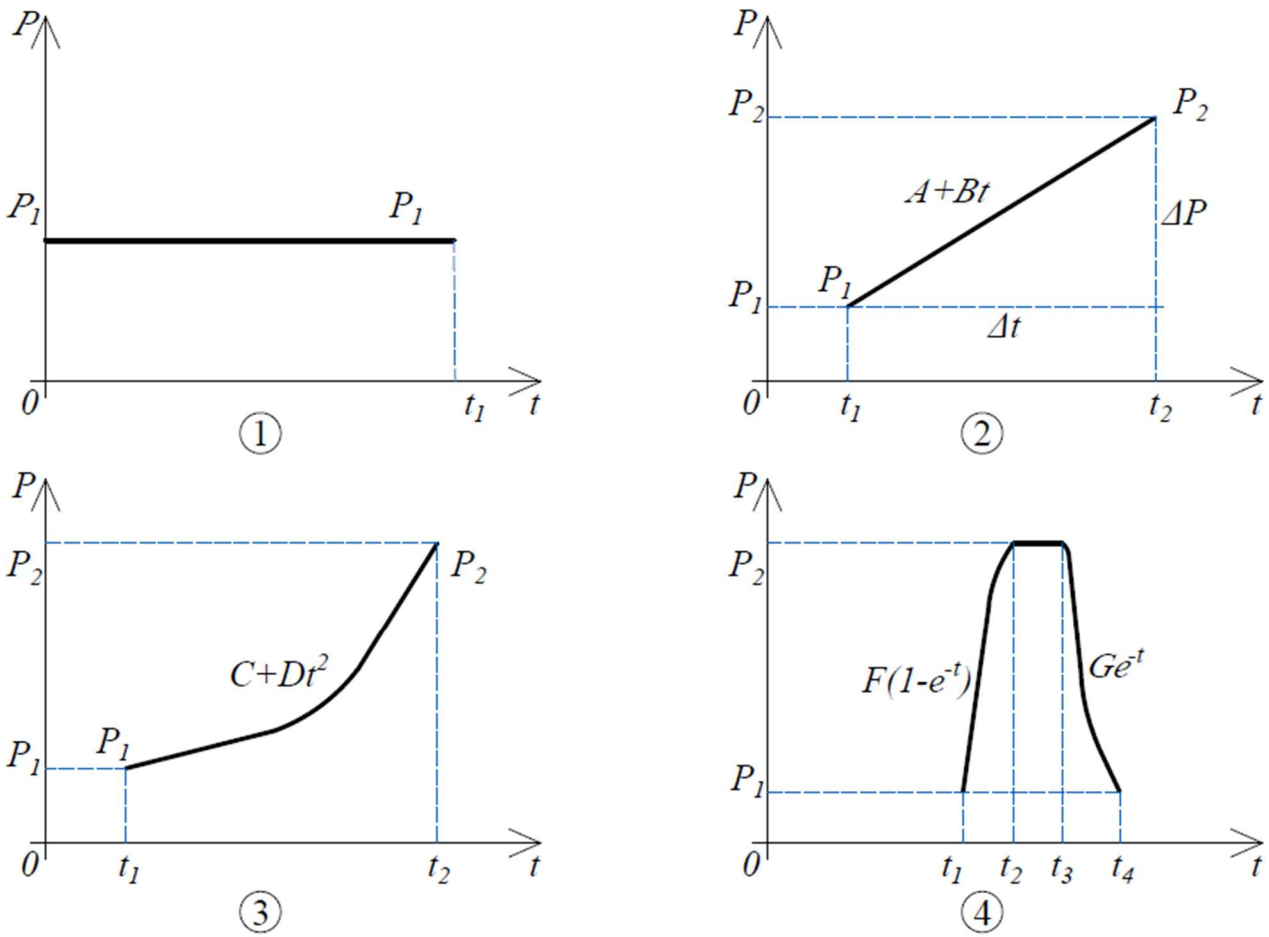


Figure 3. Schedules of the dependence of the generated power from time *P(t)* for different functions.

Figure 4 shows the nature of the dependence *B(P)* for different schedules of generated power, which can be both linear (1) and quadratic (2–4) and correspond to the functions on Figure 3. The dependences make it possible to calculate the energy of the fuel consumed.

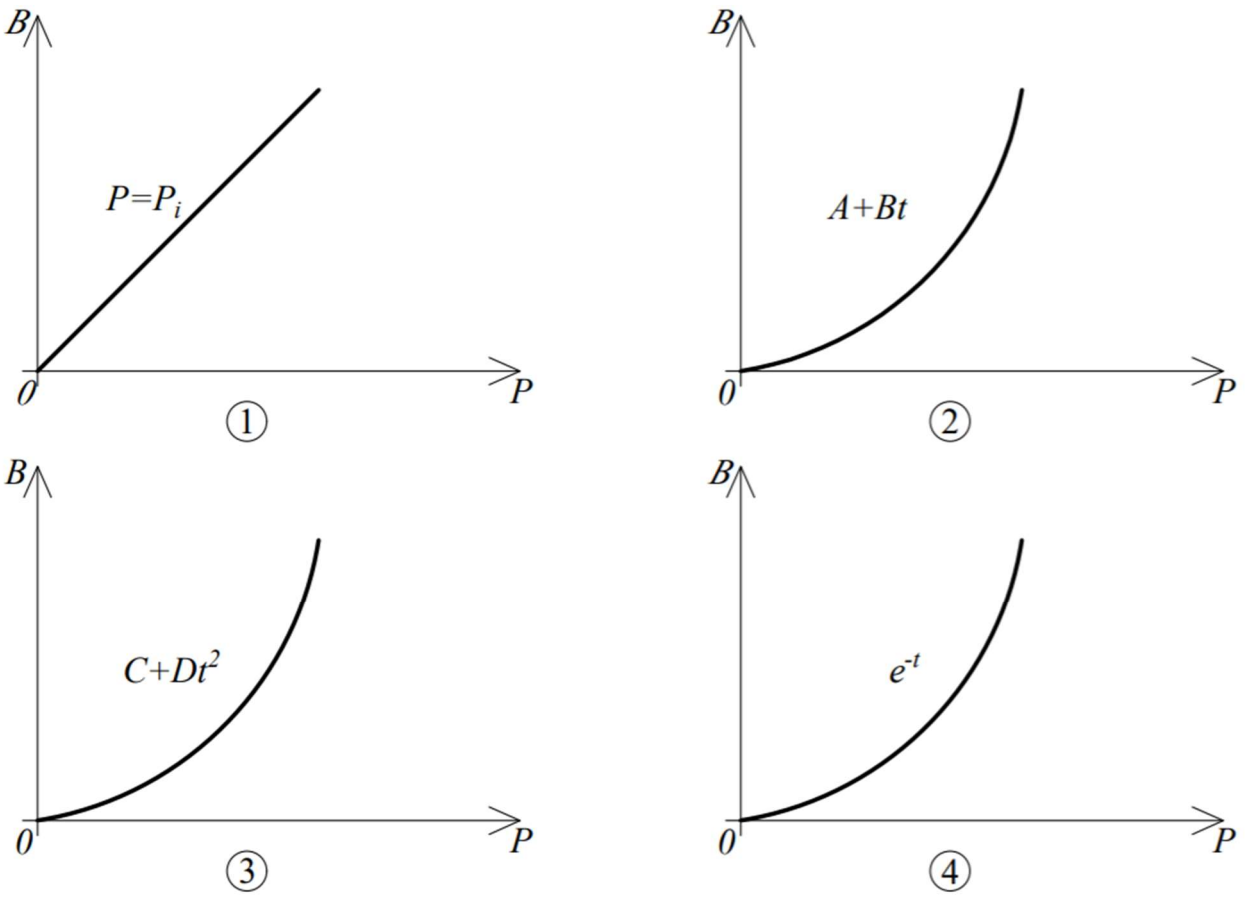


Figure 4. Dependence of the amount of the fuel consumed from the generated power.

Then, according to the above formulas, the total calculation of the cost of energy and fuel costs is reduced to the formulas:

$$C_E(t) = \int_{t_0}^{t} c_e(t)P(t)dt; \tag{12}$$

$$C_F(t) = \int_{t_0}^{t} c_f(t) \cdot B(P(t), t)dt, \tag{13}$$

where *P(t)* – the amount of power generated over the period under study; *B(t)* – the amount of primary fuel consumed over the period under study.

Fuel consumption can be determined by the formula:

$$B_\Sigma(t) = B_0 + B_N(P(t), t) + B(P(t), t), \tag{14}$$

where B_0 – fixed component of costs (replacement by cost indicators); $B_N(P(t), t)$ – operating costs, non-fuel (replacement by cost indicators).

For wind and solar installations there is no component of fuel cost:

$$B(P(t), t) \equiv 0.$$

Then the formula for calculating the fuel costs is:

$$C_F(t) = \int_{t_0}^{t} C_0(P(t))dt + \int_{t_0}^{t} C_N(P(t),t)dt + \int_{t_0}^{t} C_f(t) \cdot B(P(t),t)dt, \quad (15)$$

where $C_0(P(t))$ – the cost of a fixed component; $C_N(P(t),t)$ – cost of non-fuel operating costs.

As one could see, the analysis of the cost of generation by different sources and the impact of primary fuel consumption on the output capacity was performed, as well as the assessment of suboptimal generation and consumption schedules.

Results of the performed analyses show, that for the optimal use of different energy sources in Microgrid, it is important to estimate the level of losses from uneven electricity consumption. To do this, it is necessary to analyze the graphs of electricity generation and consumption.

It is determined that for optimal use of different energy sources in Microgrid it is important to estimate the level of losses from uneven electricity consumption and minimize the amount of primary fuel consumption. To estimate the non-optimality of the graphs of generation and consumption at any time interval, the use of the Fryze power index is proposed.

SECTION 5. ELECTRONICS

DOI 10.46299/ISG.2021.MONO.TECH.II-352-377

5.1 Features of power electronic devices applications in automatic test equipment

Modern automated testing electrical equipment is used to determine the properties, characteristics and parameters of various electrical and electronic devices and systems. Such equipment contains a number of units that perform the functions of measuring, transmitting and processing data, controlling test procedures, as well as generating test conditions and influences. By the nature of the generated test influences, these nodes can be divided into two groups: electrical generators of test signals and units of adjustable load. Examples of the units that perform these functions in various test equipment implementation will be considered below.

Automatic determination of semiconductor devices characteristics

Semiconductor devices [250], [251] are electronic components made of semiconductor materials which operation principle is based on the use of electron-hole junction properties. Despite the semiconductor devices production technologies development, there are difficulties in accurate control of the geometrical dimensions of active structures that form the p-n junction, the impurity concentration in different parts of the structure and other parameters. This leads to the fact that the characteristics of the devices of the same type may differ from each other [252]. In addition, these characteristics are significantly dependent on external factors such as radiation or temperature.

The main static characteristics of semiconductor devices are volt-ampere characteristics (VAC) [253]. Knowledge of these semiconductor devices characteristics is extremely important for the construction of complex electronic systems, since the accuracy of such devices characteristics has an absolute impact on the ability of the system to operate under given conditions. During the production there is an output quality control of the finished product, but a certain percentage of the

defective items still remain. Therefore, at the beginning stage of electronic devices and systems production, input control of the characteristics of semiconductor devices could be carried out.

The main means for measuring the VAC and parameters of semiconductor devices are:

– a set of standard measuring instruments for manual measurement of VAC and parameters of semiconductor devices;

– specialized measuring devices for measuring parameters of semiconductor devices (like curve tracers);

– automatic meters of VAC and semiconductor devices parameters integrated with personal computers.

The modern means of automated measurement of VAC and parameters of semiconductor devices are VAC meters, implemented on the basis of computer measurement technology. The hardware of such meters includes a PC and a data acquisition device that corresponds to the general structure of computer measurement systems with a semiconductor device as an object under study. The data acquisition device contains analogue and digital I/O channels, through which the interaction of a PC with a semiconductor device is carried out. Through the analog output channels the necessary test effects, which are formed by the generators, are transmitted to the semiconductor device. Through analogue input channels, the values of the voltages and currents of the analyzed semiconductor device converted into digital codes are transmitted to the PC. Digital I/O channels are used to control the measuring complex.

Basic functional capabilities of the system could be described in such a way: first of all, the system should create conditions for measuring the volt-ampere characteristics of devices, so it should act like an adjustable current or voltage source; secondly, the system should measure these values with a given accuracy in a given range of values and properly process them; thirdly, the system must be integrated with a personal computer, with which the user can set the modes of operation and get the results of measurements.

Based on these capabilities, the structure of the system will look as shown in Fig. 1 [255].

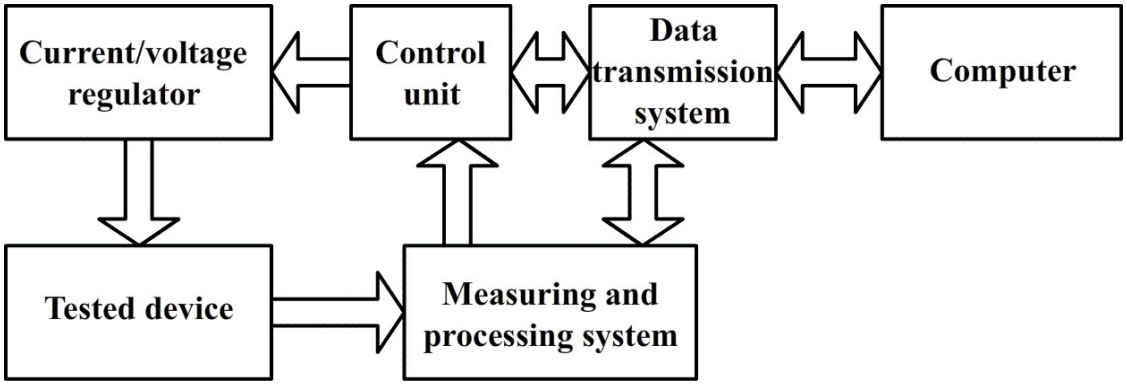


Figure 1. The structure of the automated system for determining semiconductor devices characteristics.

The system includes current or voltage regulator, device for controlling it, system for measuring and processing data, and system for data transmission to personal computer. Using the software installed on the PC, the operator sets the type of semiconductor device and mode of study. This data is transmitted to the control unit and measuring system. After this, the measurement procedure begins, during which the regulator generates the test signals required for the research, and the measurement system records the values of the studied parameters. In parallel with this measured data are processed and transmitted through the data transmission system to a personal computer. After the completion of the entire procedure, the measured data is available to the operator for further use.

The key issue in the construction of this system is the development of an electric energy converter, which would perform a voltage or current control function depending on the task. This is due to the fact that semiconductor devices are characterized by significant nonlinearity of VAC. For example, in the study of a semiconductor stabilizer on the VAC section before electrical breakdown, an electrical voltage should be regulated, and after – the current. In addition, depending on the type of device being studied, it is necessary to change the voltage or current polarity.

One possible solution may be a half-bridge inverter with an inductive-capacitive filter [256] powered by two independent DC sources. The scheme of such an inverter is shown in Fig. 2.

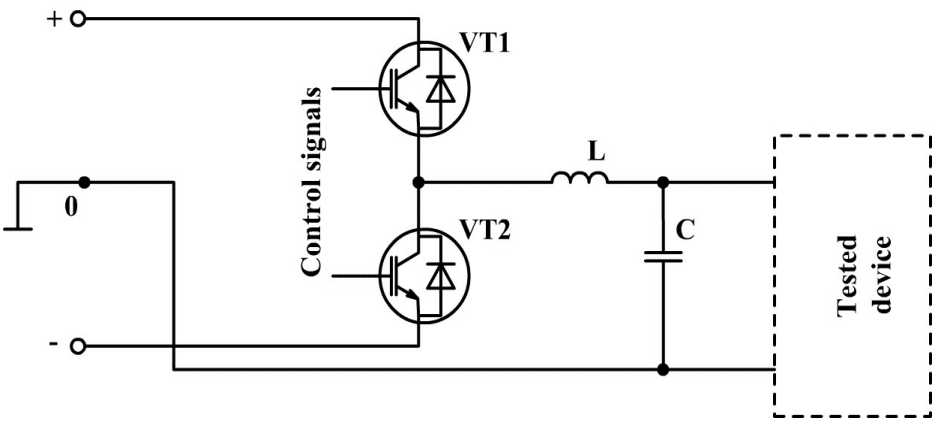


Figure 2. Half-bridge inverter with inductive-capacitive filter.

At the output of such an inverter, a rectangular voltage is formed which is fed to an LC filter. The low-frequency voltage components by this filter are skipped, and the high-frequency components are suppressed. Thus, by providing the corresponding control signals, it is possible to form the voltage of the desired pattern at the output of the filter.

The transfer characteristic of such a filter is determined according to the expression:

$$K(\omega) = \frac{R}{R + j\omega L - \omega^2 LCR},$$

where ω is the angular frequency; R is the load resistance.

The resonant frequency of such a filter is determined by the expression:

$$\omega_{res} = \frac{1}{\sqrt{LC}}.$$

Taking into account that the differential resistance of semiconductor devices can vary widely, in series with the tested device it is necessary to connect active resistance. The amplitude-frequency characteristics of this filter at values L = 30 mH, C = 100 uF

and two values of load resistance: the infinite value and the value of 10 ohms are shown in Fig. 3.

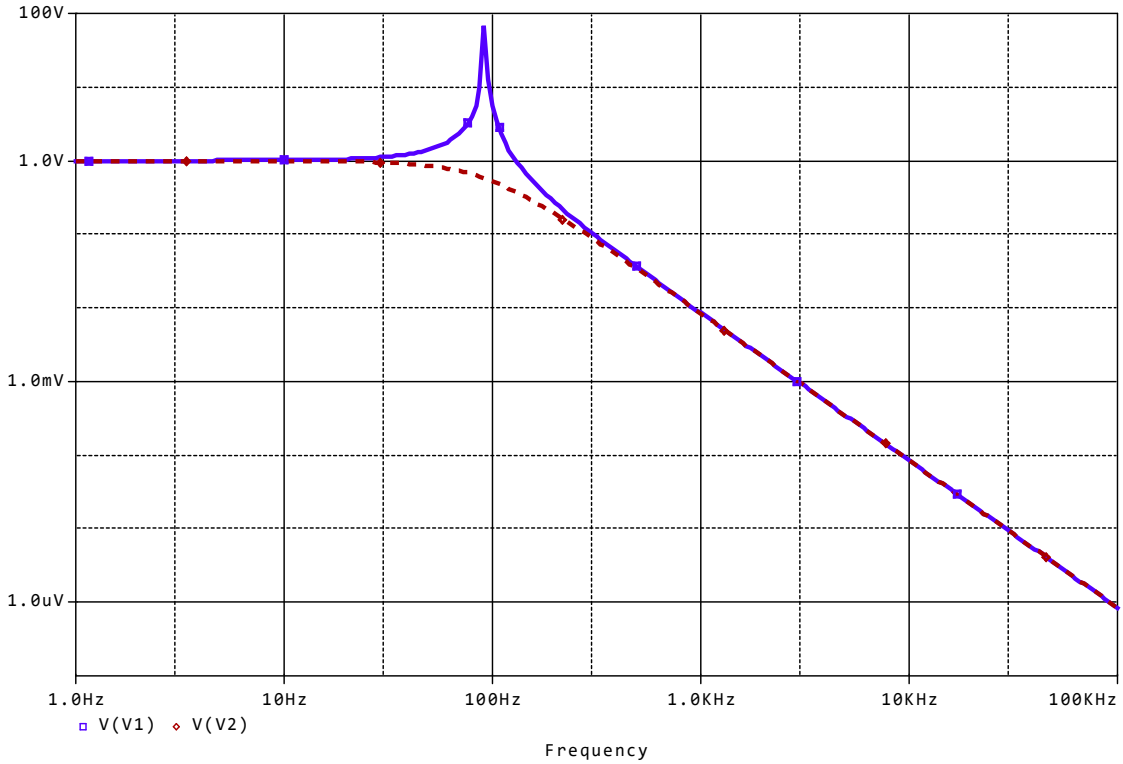


Figure 3. Transmission characteristics of the inductive-capacitive filter at different loads (blue curve – load resistance is 10 ohms, red curve – load resistance is infinite).

To determine the volt-ampere characteristic, it is necessary to measure the constant component of the current, and the use of such a filter makes it possible to significantly reduce the high-frequency component of the voltage applied to the tested device.

The formation of an inverter voltage or current of a given pattern is achieved by supplying control signals. Usually, high-frequency pulse-width modulation is used for this. To ensure the implementation of both current and voltage control two-circuit regulation should be implemented: the inner circuit will provide current control, and external – voltage.

The functional structure of the control device that implements this approach is shown in Fig. 4.

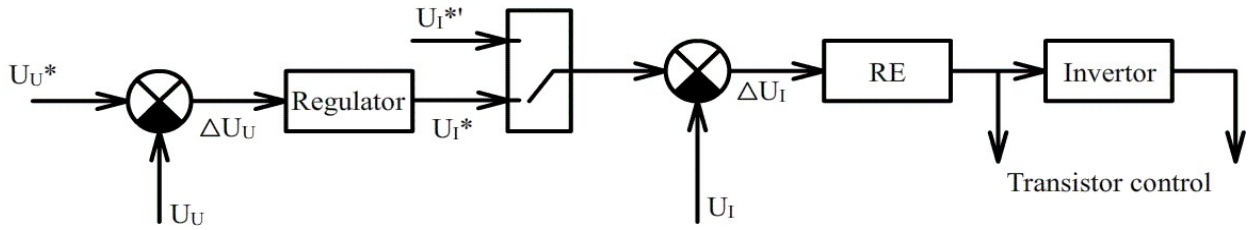


Figure 4. The structure of the inverter control unit.

The principle of such a system is as follows:

– The internal circuit implements the relay control of the inverter current. The inverter current setting signal U_I^* is either supplied from the external control loop or from an independent input device and is limited to the maximum level. The choice of this signal source is carried out depending on its value – in the case when the signal from the control circuit exceeds a certain value, switching to an external source is carried out. The setting signal and the feedback signal U_I are fed to the inputs of the subtraction device, the output of which generates an error of current regulation ΔU_I. This error signal is applied to the input of the relay element (RE). When the error reaches the limit value set by the width of the relay element hysteresis loop, the signal at its output changes to the opposite. The high and low output level of the relay element is the control signals for the transistors of the inverter. An Inverting circuit is used to receive the second control signal. Such control provides value of the inverter current in the given current "corridor".

– The external circuit is used to regulate the voltage. The voltage setting signal U_U* is formed depending on the task received from the operator for the study of the semiconductor device. Next, this signal, together with the voltage feedback signal U_U, is fed to the input of the subtractor, the output of which generates an error voltage control signal ΔU_U. The received signal is fed to the input of the controller unit, which can be realized by various standard regulators. At the output of this block, the current setting signal is generated.

In this way this system implements subordinate regulation, and voltage regulation is carried out through regulation of current.

The analysis of the efficiency of such a system has been carried out through simulation. For this purpose, in the MATLAB Simulink software environment [257], a virtual model of the proposed system has been constructed. For simulation, elements from the Simscape section libraries have been used. These libraries include a variety of electrical elements, power supplies, semiconductor devices, measuring elements, and more.

The structure of the constructed model is shown in Fig. 5.

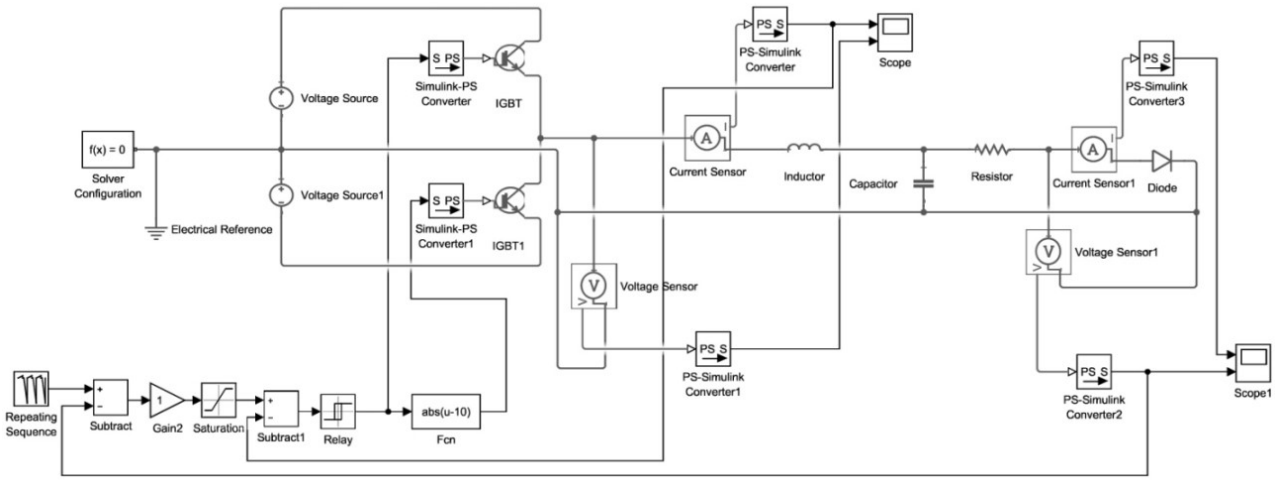


Figure 5. Structure of a regulated inverter model.

To analyze the system's performance, the process of forming a linearly varying voltage has been studied. In this case, the current setting signal was limited to a value equal to 1 A. As a studied semiconductor device, a diode has been taken which model is represented as a nonlinear VAC. The voltage setting signal is equal to zero before the time of 0.1 s. After that, it starts to rise linearly to a value of 10 V at a time of 0.2 s. Then it linearly decreases to zero at a time of 0.3 s, and then remains unchanged. At a time of 0.4 seconds, it begins to decrease linearly and reaches a value of -100 V at a time of 0.5 s. The value of the inverter power supply voltage is equal to 150 V. As a regulator a proportional controller is used. The width of the relay element hysteresis loop is ± 0.03 A.

The simulation results are shown in Fig. 6.

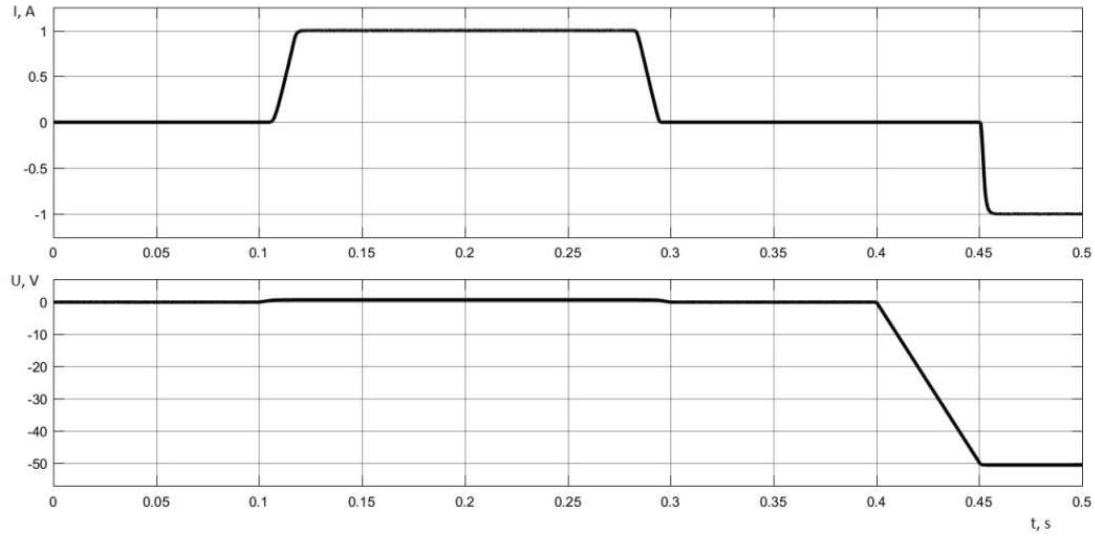


Figure 6. Inverter output current and voltage graphs.

In these graphs time dependences of current through the diode and the voltage on it are shown. The obtained results on an enlarged scale are shown in Fig. 7.

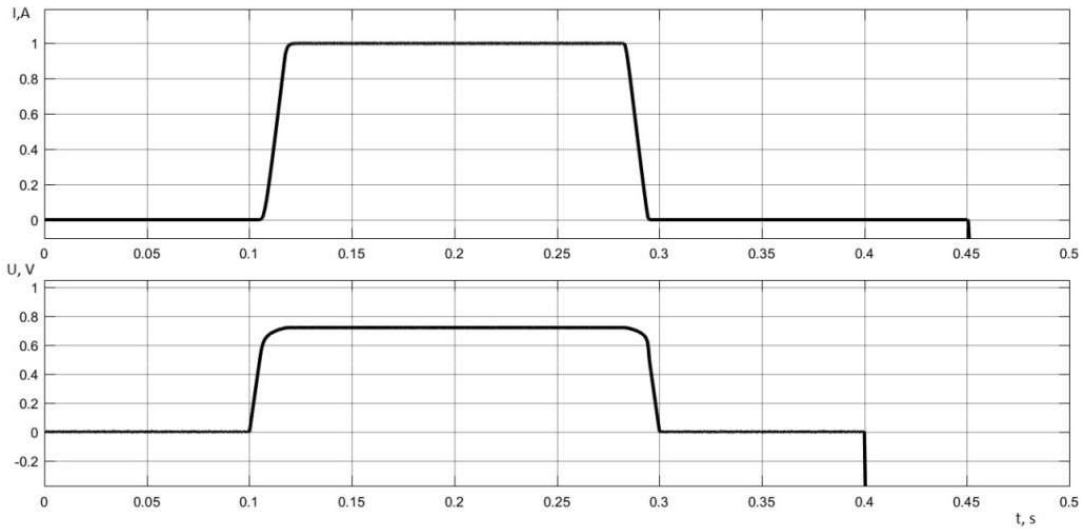


Figure 7. Inverter output current and voltage graphs (enlarged scale).

As can be seen from the graphs shown, as the setting signal grows, the voltage on the diode is also increased. The current is also increased, but the nonlinearity between these two dependencies is noticeable. The combination of current and voltage values at the same time points forms the semiconductor device VAC. After current reaching the value of 1 A, it ceases to increase, which is due to the used control approach. This corresponds to the boundary point of the investigated VAC.

When connecting the negative voltage (see Fig. 6), the voltage begins to decrease linearly to the value of -50 V, and the current value is almost unchanged and equal to the reciprocating current of the diode. At an voltage of -50 B there is an electrical breakdown, and the current begins to grow rapidly. This process continues until the current reaches a value of -1 A, after which it is limited and remains unchanged. Similarly to the straight branch of the VAC, a set of current and voltage values at the same time points determine the reverse branch of the VAC.

For determining the volt-ampere characteristics of semiconductor devices with the number of outputs greater than two, a similar approach can be used to construct additional current or voltage regulators.

A characteristic feature of the implemented in this system approach is that there is no need for the exact formation of the voltage applied to the tested device. It is only necessary to ensure its smooth change in the considered range. The definition of VAC is carried out by fixing an array of measured values of current and voltage at the same time points. For improved accuracy, this procedure can be repeated several times with subsequent statistical processing of the results.

Automatic testing and determination of DC power sources characteristics

Direct current (DC) sources are widely used to power a variety of electronic equipment [258], [259]. Essentially such sources are sources of secondary power, which convert the electric power of the industrial grid to electric power of direct current [260]. Power sources that are on the market differ in their purpose, power, output voltage, efficiency factor and many other parameters. But characteristic property of all these devices is the ability to maintain the output voltage or current with given accuracy for a long time while the load could change within the specified limits. Therefore, in the production of such power supplies, it is mandatory to test the finished products to control their characteristics. Similar procedures can be performed at service centers when troubleshooting [261].

For these purposes devices and systems different in complexity and functionality are used. The market now has specialized systems for testing specific power supplies, as well as more versatile equipment that can be configured to test different purpose systems.

For a comprehensive study of DC sources automated testing systems are used [262], the approximate structure of which is shown in Fig. 8.

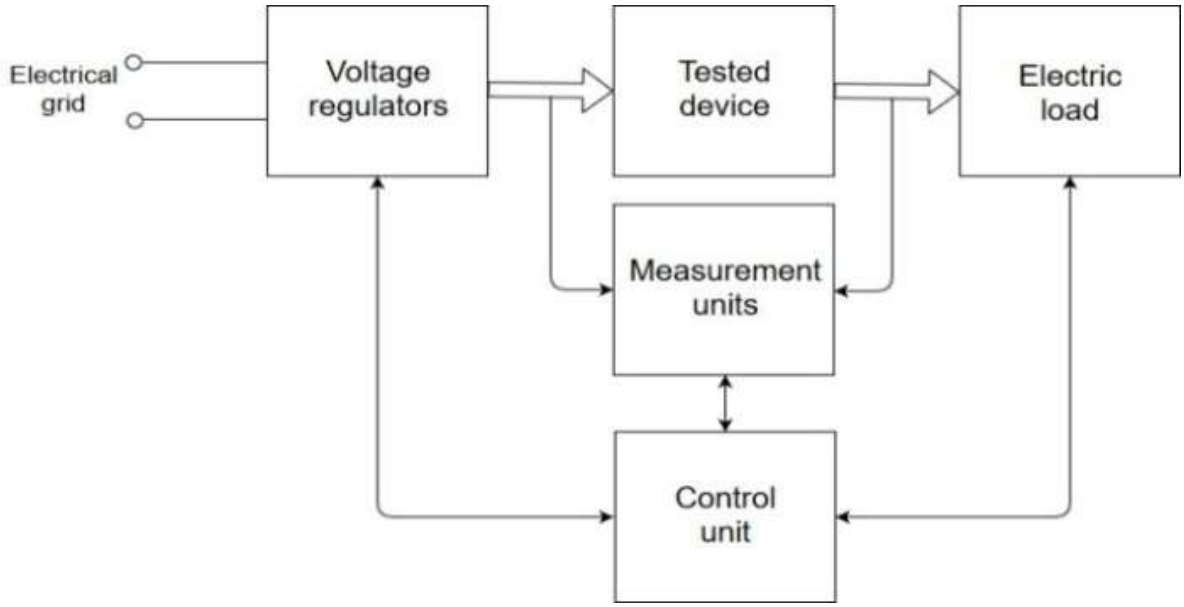


Figure 8. Structure of the automated testing system of secondary DC power sources.

In addition to the tested device, such a system includes: a voltage regulator, a regulated electric load, a set of measuring and a control units for the entire system. Such complex systems provide measurements of a set of characteristics, among which some should be distinguished:

– output characteristics (output voltage, output current, efficiency, pulsation dispersion, etc.);

– input characteristics (starting current, harmonic current composition, power factor, etc.);

– time and transition characteristics (turn-on and shut-down time, dispersion in transient processes, etc.);

– special characteristics.

Considerable attention is paid to the development of systems for testing computer power units, due to their widespread distribution. A characteristic feature of these blocks is the presence of different output voltages, which are divided into several groups. For each of these groups, there is a maximum current for which the voltage should not differ from the specified value by more than 5%.

For energy-efficient operation of such automated testing system of computer power units, it is necessary to ensure the transmission of energy consumed from the power unit to the electrical grid. The implementation of such recuperation function involves the use of semiconductor energy converters as a load [256]. Considering the need to adjust the load input currents in accordance with the testing algorithm, it is appropriate to combine these functions in one device.

In the computer power supply units, there are groups of output voltages of + 3.3 V, +5 V, +12 V, – 5 V, – 12 V, but in the most modern devices there are no negative voltages. The structure of the energy converter, which can be used as an adjustable load [263], is shown in Fig. 9.

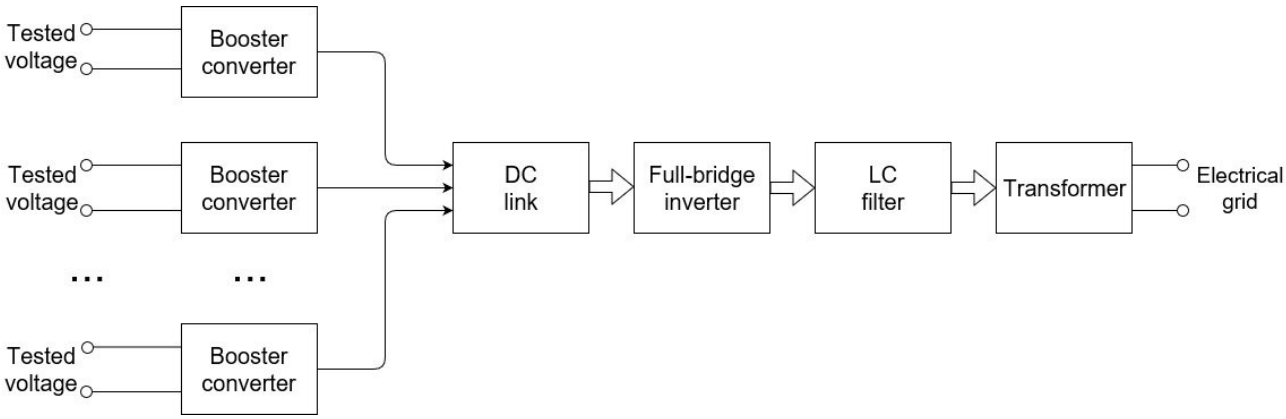


Figure 9. Structure of the adjustable electronic DC load.

It consists of: booster converters, the number of which equals the number of voltage groups of the tested block, the DC link, the output full-bridge inverter, the smoothing LC filter and the grid transformer.

The schematic diagram of the booster converter is shown in Fig. 10.

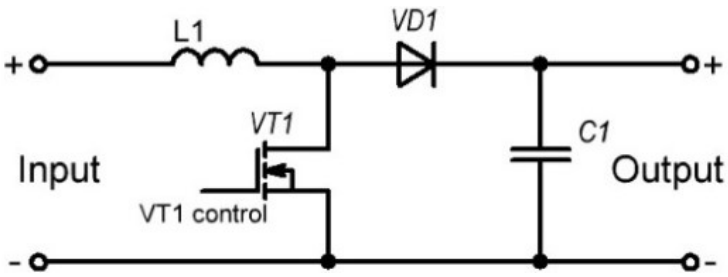


Figure 10. Booster converter.

Such converter, depending on the control, can operate in the mode of output voltage regulation, or in the mode of input current regulation. Based on the purpose of these converters in the system, it will be rational to provide the regulation of the input current. This is achieved by changing the duration of the open and closed state of the transistor at high frequency, which allows reducing the weight and size parameters of the inductance. Different approaches are used for transistor control, the most common of which is pulse-width modulation and relay regulation. In this case, it would be more efficient to use relay control, since such control is the easiest in implementation. This approach involves switching of the transistor at moments of time when the difference between the instantaneous value of the inductance current and the given value exceeds a certain value. The given current value $U_{I\,\mathrm{load}}$* is set by the control unit and corresponds to the load level for which the testing is performed. Thus, the real value of the load current I_{load} will be constantly located in the "current corridor" ΔI_{load} around the given value. The width of this "corridor" corresponds to the width of the relay element hysteresis loop. In Figure 11 the structure of a control unit that implements the described approach is shown.

With a constant input current of the booster converter, the electric energy will accumulate in the capacitance of the DC link, which will lead to the voltage increase. Returning of the accumulated energy to the power grid is carried out by the inverter. Its functional purpose is the formation of the output current I_{out}, the shape and phase of which must coincide with the shape and phase of the electrical grid voltage U_{grid}, and the amplitude $I_{\mathrm{out.\,max}}$ is regulated depending on the DC link voltage. In this case, the

power factor is almost equal to 1, so the recovery of the electric energy will not negatively affect the power grid.

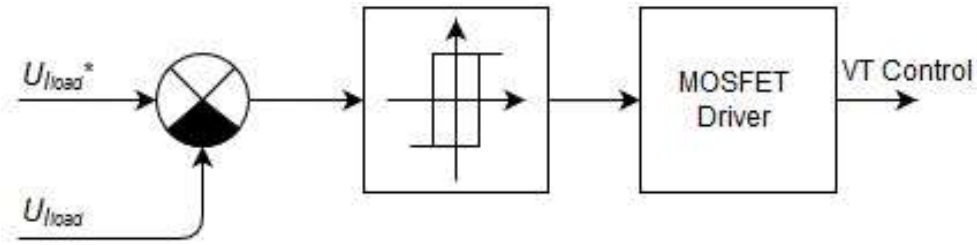


Figure 11. Structure of booster converter control unit.

Figure 12 shows the scheme of the output part of the regulated load, which includes a full-bridge inverter, a smoothing filter and a grid transformer.

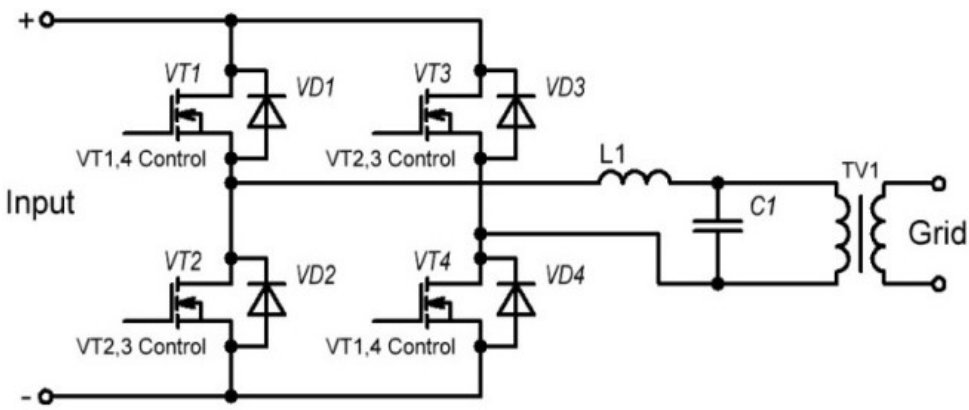


Figure 12. The scheme of the output part of the regulated DC load.

Regulation of the inverter output current I_{out} is carried out by alternating pairwise switching of transistors VT1, VT4 and VT2, VT3. For this purpose, it is also rational to use relay control. The form of the output current set value $U_{I\,out}$* must coincide with the electrical grid voltage form, and the amplitude must depend on the DC link voltage U_C. The more energy is accumulated in the link, the greater the voltage and the greater the amplitude of the output current would be. The structure of the control unit that implements the described approach is shown in Fig. 13.

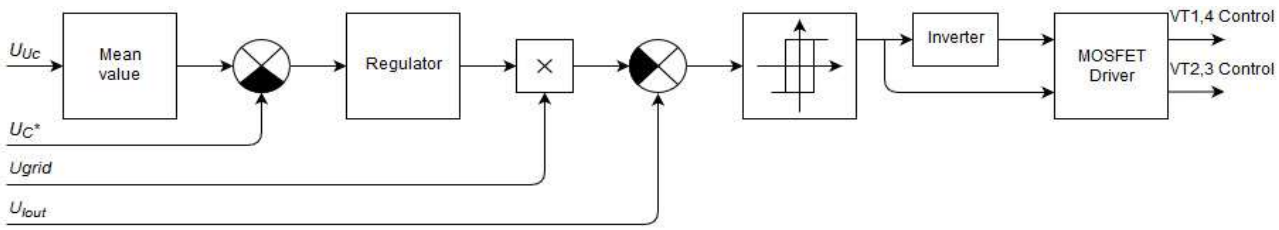


Figure 13. Structure of full-bridge inverter control unit.

The input signals are the sensor signals of the following values: grid voltage U_{grid}, inverter output current $U_{I\text{out}}$, DC link voltage U_{Uc} and given value of DC link voltage signal U_C*. To form the reference signal of the inverter output current $U_{I\,\text{out}}$*, subtraction blocks, regulator (proportional controller in this case), and multiplication unit are used. At the output of the subtraction block, the difference signal ΔU_C is generated. This signal is fed to a proportional controller, which serves to determine the amplitude of the output current. Next, by multiplication of the amplitude signal on the signal U_{grid}, the signal $U_{I\,\text{out}}$* is generated. Transistor control signals are generated using a relay element, on the input of which the difference between the $U_{I\,\text{out}}$* signal and the $U_{I\,\text{out}}$ signal is given, which in turn is formed by the second subtraction block. The opening of transistors VT1, VT4 should occur at a high level of the relay element output signal, and transistors VT2, VT3 – at low. To distribute control signals an inverter is used.

During operation, the increase of load currents will increase the voltage in the DC link, which automatically will increase the output current. Thus, the tasks of transmitting energy from the tested power supply unit to the network with a unity power factor and voltage stabilization in the DC link is automatically solved. Usage of a proportional controller for forming $U_{I\text{out}}$* causes a U_C adjustment error. But taking into account that for controlling current relay control is used, this error will only lead to a change of the current pulsations frequency.

On the other hand, it should be taken into account that transferring of energy from the DC link to the grid has a pulsating nature. Since I_{out} coincides with the shape of the grid voltage, its energy will be changed with double frequency. At the same time,

current and energy consumption from the tested power supply unit is constant over time. The difference between these energies is compensated by the electric field energy of the DC link, which leads to the appearance of U_C voltage fluctuations. The smaller the capacitance would be in DC link, the less amount of energy can be stored, and therefore the amplitude of U_C pulsations will be greater. Possible U_C voltage drop can lead to a loss of controllability of load current I_{load}. Neglecting the value of losses, we can assume that the input power is equal to the average output power on the period. The deviation of the voltage in the DC link from the mean value is characterized by the pulsation coefficient $K_P = U_{Cm}/U_{Cd}$, U_{Cm} is the amplitude of the voltage pulsations in the DC link, U_{Cd} is the average voltage value in the DC link. The value of the capacitance is determined by the expression:

$$C = \frac{P_d}{2\omega \cdot K_P \cdot U_{Cd}^2},$$

where P_d is the average energy of the period, ω is the circular frequency of the current transmitted to the grid.

To ensure controllability of the load current, it is necessary that the voltage U_C would be greater than the highest voltage of the power supply unit being tested (that is equal to 12 V in case of computer power unit). Therefore, the proper average voltage value of U_{Cd} and the magnitude of its U_{Cm} pulses should be selected. Obviously, when testing a power supply unit of a given power for reduction of the DC link capacitance, it is rational to increase the U_{Cd}. But such increase of U_{Cd} voltage would also lead to increase of the power transistors switching frequency, which is determined by the expression:

$$f = \frac{1}{\frac{L_{\text{load}} \cdot \Delta I_{\text{load}}}{U_T} + \frac{L_{\text{load}} \cdot \Delta I_{\text{load}}}{U_{Cd} + U_{Cm} - U_T}},$$

where U_T is the output voltage of the tested power supply unit; L_{load} is the input inductance of the booster converter.

Therefore, when designing a regulated load of a given power, all the above-mentioned factors must be taken into account.

It should be noticed that since voltage U_C is used to generate the $U_{I\,\mathrm{out}}$* signal, then the presence of pulsations will cause distortion of the output current, and change the power factor. To avoid this, when calculating the $U_{I\,\mathrm{out}}$* signal, the mean value of voltage U_{Cd} should be used.

To test the performance of the proposed approach for building a regulated load with the possibility of energy recovery, its visual model in the Matlab Simulink software environment was composed (Fig. 14).

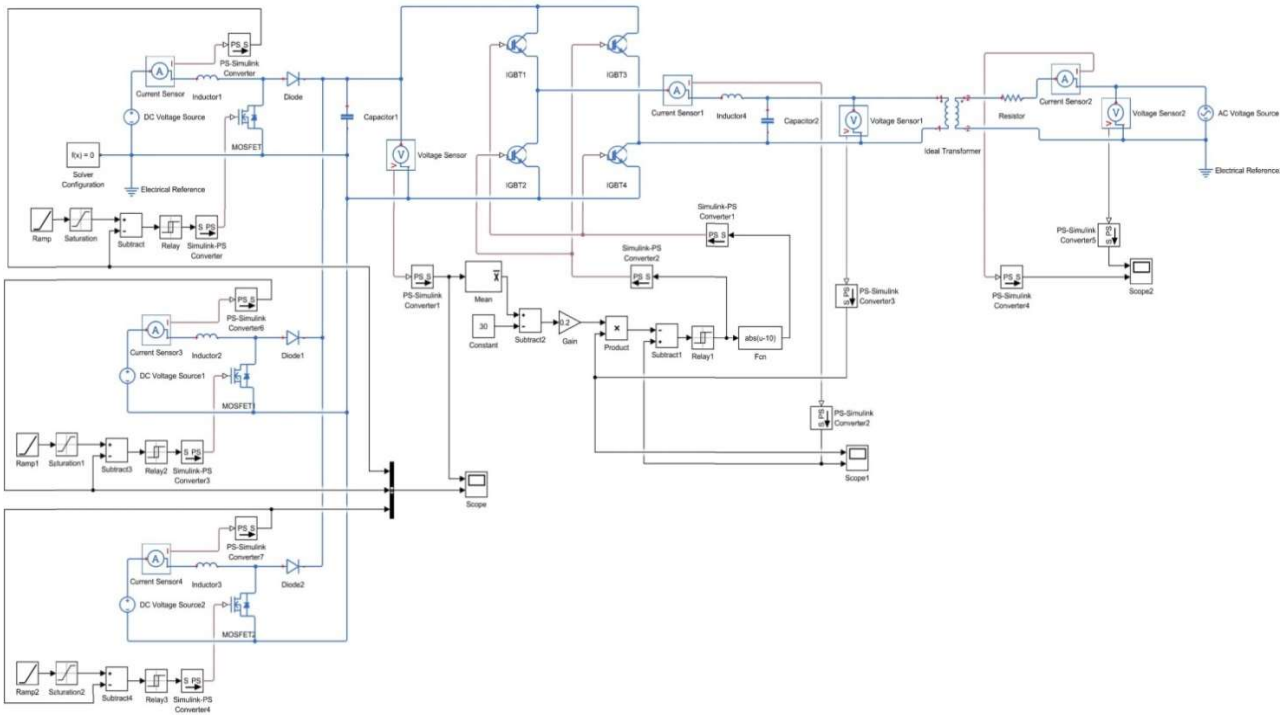
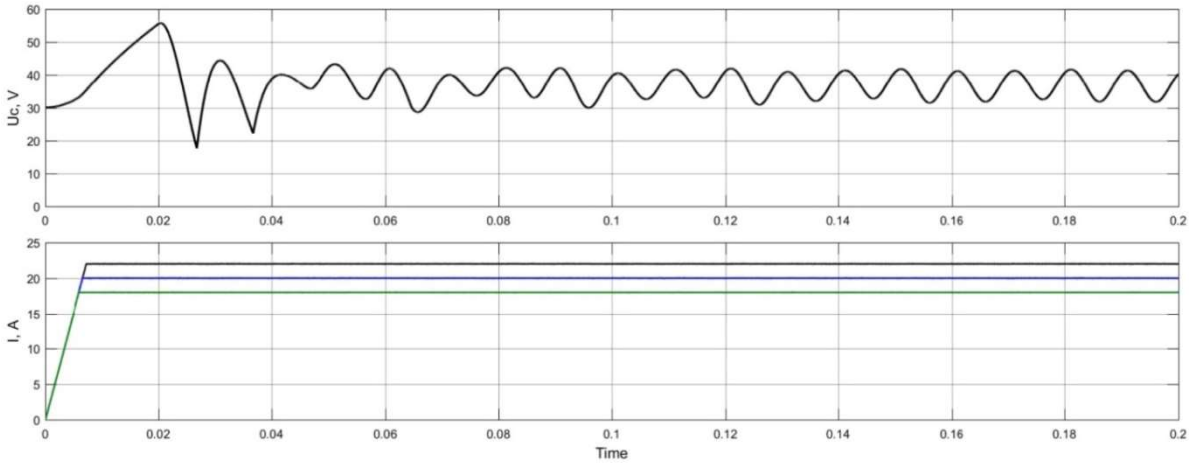


Figure 14. Structure of a regulated electronic DC load model.

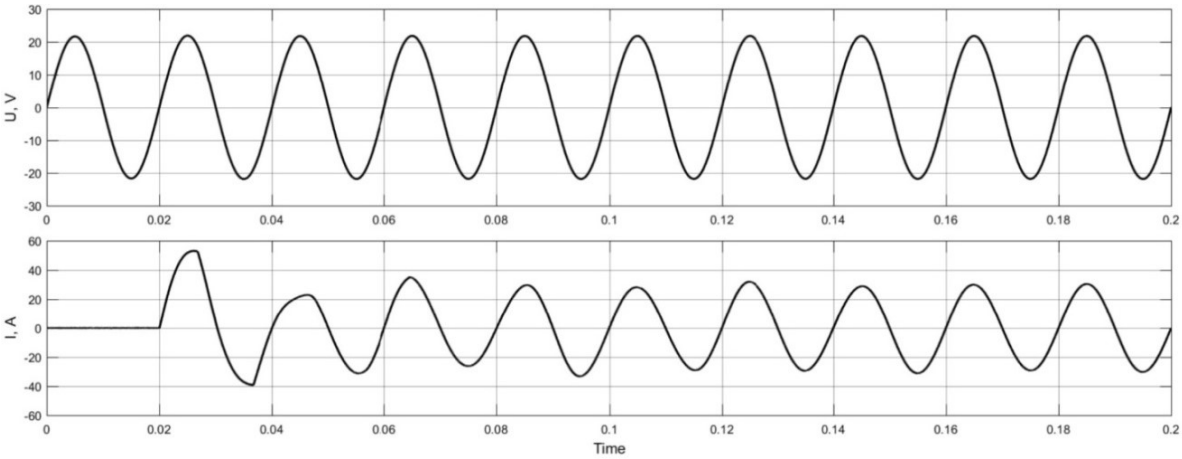
In this model, three booster converters with independent input current control are implemented. The number of such converters should correspond to the number of voltage lines in the tested power supply unit.

As a tested power supply, three EMF sources of voltages 3.3 V, 5 V and 12 V are used. The signals of the given load currents $U_{I\,\mathrm{load}}$* are linearly variable with saturation at 22 A, 20 A and 18 A for each EMF source, respectively. For collecting data of currents and voltages instantaneous values, ideal current and voltage sensors are used. Inductance of input reactors is equal to 0.5 mH, 1 mH and 2 mH for different

voltage lines, capacity of the DC link 5 mF. The parameters of the LC filter are set to 3 mH and 100 μF which corresponds to the resonance frequency of 290 Hz. Transform coefficient of the grid transformer is equal to 0.07. The results of the simulation are shown in Fig. 15.



a)



b)

Figure 15. Modeling results: (a) are graphs of load currents and voltage in the DC link; (b) are graphs of the output voltage and current of the inverter.

As can be seen from these graphs, the input load currents follows the given values $U_{I\,\mathrm{load}}$*. So the proposed approach for controlling these currents ensures their direct regulation.

During the first period of the grid voltage, the output current of the inverter is not formed – this is due to the need to determine the mean value of voltage U_C. During this time, the capacity of the DC link is charged and the voltage on it reaches 55 V.

After the first period, the inverter output current increases and the transient process begin, which ends in four periods of the grid voltage. In the quasi-steady state, the amplitude of the output current remains unchanged, and the current shape coincides with the voltage shape. Power factor is equal to 0.999. Total harmonic distortion is equal to 1.2 %. This confirms effective recuperation of energy consumed from the tested power supply back to the grid.

Automatic testing and determination of AC power sources characteristics

Secondary alternating current (AC) power sources are devices that convert the energy of primary power sources or the electricity grid into AC power [264]. Such devices are used in a number of applications, including the following: on-board and stand-alone power systems, laboratory and test equipment, uninterruptible power sources and aggregates, and more.

Uninterruptible power sources (UPS) are widely used and designed to provide electricity to connected equipment when the power is turned off. They also perform the function of eliminating the negative impact of grid imperfections on the operation of the equipment. These imperfections include changing the shape or magnitude of the grid voltage, as well as the presence of high-voltage pulses or high-frequency interference. These devices can be combined with various types of electricity generators to ensure long-term operation.

According to the topology UPS can be divided into: UPS with double energy conversion, linear-interactive UPS and backup UPS. But regardless of the type in accordance with international standards IEC 62040 [265], each UPS must be compatible with low-voltage grids providing certain output voltage and frequency characteristics. In addition, the manufacturer must specify the following characteristics: number of phases, rated current, characteristics of starting current, power factor, efficiency and others. To confirm the stated parameters, the manufacturer must carry out a series of tests for which special procedures have been developed. An

example of such a procedure could be a procedure developed by the Office of Energy Efficiency and Renewable Energy of US Department of Energy [266].

According to this test procedure for determination of the efficiency UPS input and output power should be measured at load values corresponding to 100%, 75%, 50% and 25% of the declared power. During this procedure the reference test load must be used. This load should provide a power factor greater than 0.99, i.e., act as a resistive load.

The implementation of such a test procedure can be performed by connecting to the tested UPS a set of powerful resistors. However, such a solution is not effective. The fact is that during all the testing procedure, the electrical energy consumed by such a load is converted into thermal energy. Considering the long enough time of the test procedure, it would be appropriate to ensure the return of electricity consumed from the UPS to the power grid. This requires the use of special devices called electronic load units. Herewith, it is desirable to minimize the energy losses in such a load, and, in order to minimize the impact on the power grid, the return of energy should be carried out with a unity power factor. So such a load should provide:

– consumption from the tested UPS variable by value current with a power factor greater than 0.99;

– return of consumed energy to the grid with a unity power factor and minimum total harmonic distortion to ensure requirements of electromagnetic compatibility.

The structure of this load [267] is shown in Fig. 16.

It consists of: one or more (according to the number of tested UPS output voltages) active rectifiers, DC link, grid-tie inverter. Each of the active rectifiers and the grid-tie inverter has its own control unit. In order to enable the operation of several active rectifiers on a common DC link, it is advisable to realize them as half-bridge inverters. As a grid-tie inverter it is also advisable to use a half-bridge inverter. With this construction, the ground electrode of the power grid will be common to all components of the electronic load. Thus, generation of the load current will be carried

out by active rectifiers, the grid-tie inverter will transmit electricity to the power grid with the required power factor, and the DC link will act as temporary energy storage.

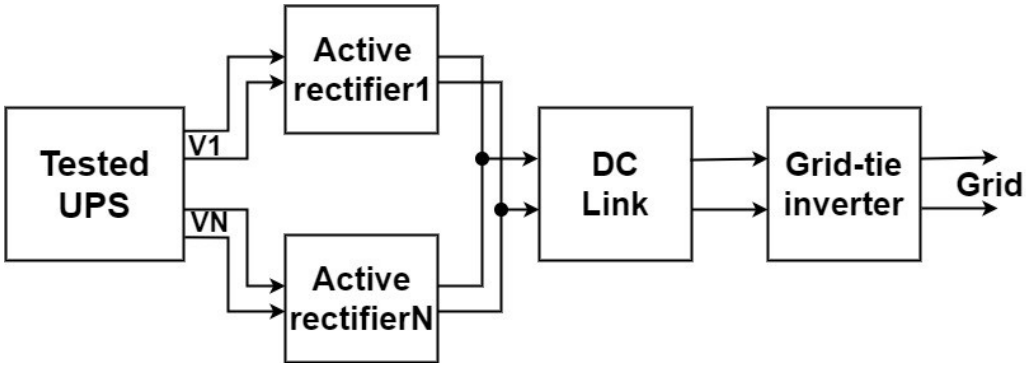


Figure 16. The structure of electronic AC load.

The schematic diagram of the power section of the AC electronic load is shown in Fig. 17.

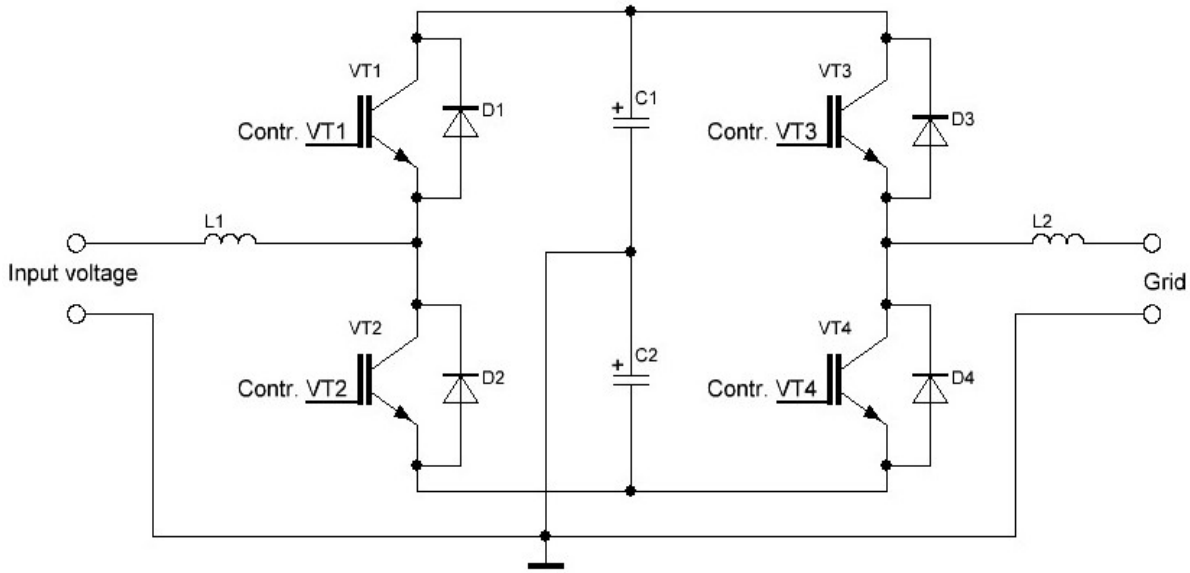


Figure 17. Scheme of electronic AC load.

The formation of the input current through the inductor L1 is carried out by switching transistors VT1, VT2 turn by turn. Moreover, the switching-on of transistor VT1 leads to a decrease of current, and VT2 – to increase. But this is possible only if the voltage on the DC link U_C is greater than the voltage amplitude of the tested UPS.

Otherwise, the diodes VD1, VD2 will act as an uncontrolled rectifier and the possibility of input current regulation will be lost.

It is advisable to use a grid-tie inverter to charge the DC capacitors initially and keep the U_C voltages at a predetermined level. This is achieved by adjusting its output current: if the energy consumed from the UPS is greater than the energy supplied to the grid, the DC link voltage will increase, and otherwise it will decrease. Within a short time after connecting to the network, capacitors will charge up through the grid-tie inverter, and the test procedure itself should begin after this process is completed.

Based on the operation features of the electronic load parts, approaches for controlling them can be defined. To ensure the resistive nature of the tested UPS load, it is necessary to control the input current of the active rectifier so that its shape corresponds to the UPS voltage shape and the value can be set separately. The transmission of energy to the grid also requires current control, but in this case, the shape of the current must correspond to the grid voltage, and the value must depend on the voltage of the DC link. It is advisable to use relay non-synchronized control to solve both of these tasks. The structure of control unit implementing such approach is shown in Fig. 18.

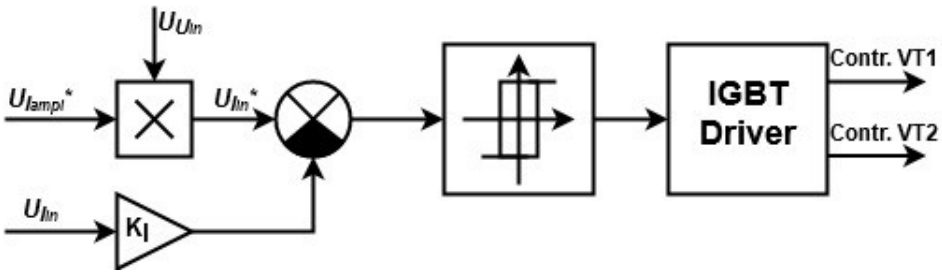


Figure 18. AC electronic load control unit.

The transistor control signal is generated by a relay element and driver, with a difference between the current reference U_{Iin}^* and the feedback U_{Iin} signals as an input. In this case, the maximum current deviation from the desired value will be determined by the width of the hysteresis loop and the transmission factor of the current sensor K_I. The U_{Iin}^* reference signal is generated by multiplying the U_{Uin} feedback signal on the

current amplitude reference signal, this determines the differences in the control of the active rectifier and the grid-tie inverter. For the active rectifier, this signal must be generated by the control device depending on the particular stage of the testing procedure. For a grid-tie inverter, this signal must be generated depending on the difference between the DC link voltage U_C and the set value U_C^*. In both cases, the amplitude signal must be limited to the maximum permissible level to prevent failure of the electronic load.

With such control approach in quasi-steady-state the capacitance charge current will be equal to the difference between the input and output current, and the DC link voltage will vary according to the expression:

$$U_C(t) = \frac{1}{C}\int (I_{in}(t) - I_{out}(t))dt.$$

On condition of sinusoidal form of the input and output voltages, values of the currents will also be almost sinusoidal (with additional high-frequency components due to the switching of the transistors). In this case, the voltage U_C will consist of two components: a constant, due to the initial charge level of the capacitance, and a harmonic, which frequency will be equal to the frequency of currents, and the amplitude will be dependent on the amplitudes of the currents and the phase shift between them. The amplitudes of input and output currents in steady state will be the same. Accordingly, the amplitude of the harmonic component of the voltage U_C at zero phase angle will be the smallest, and at a phase angle equal to 180 ° - biggest. Considering the worst case, it is possible to find the maximum value of this amplitude:

$$U_{C\sim w.c.} = \frac{2 \cdot I_{\max}}{\omega \cdot C}.$$

As can be seen from this expression, the amplitude of the voltage harmonic component is directly proportional to the magnitude of the current and inversely proportional to its frequency and capacitance of the DC link. In order to control the input current, the minimum voltage level in the DC link must be greater than the maximum input voltage, and in order to avoid emergency situations, the maximum DC link voltage must be less than the maximum allowable transistor voltage. Then, based

on the power of the tested UPS, its output voltage and frequency, as well as selected element base, it is possible to calculate the value of the DC link capacitance.

To verify the performance of the proposed system in the MATLAB Simulink software environment virtual model was built. The structure of the model is shown in Fig. 19.

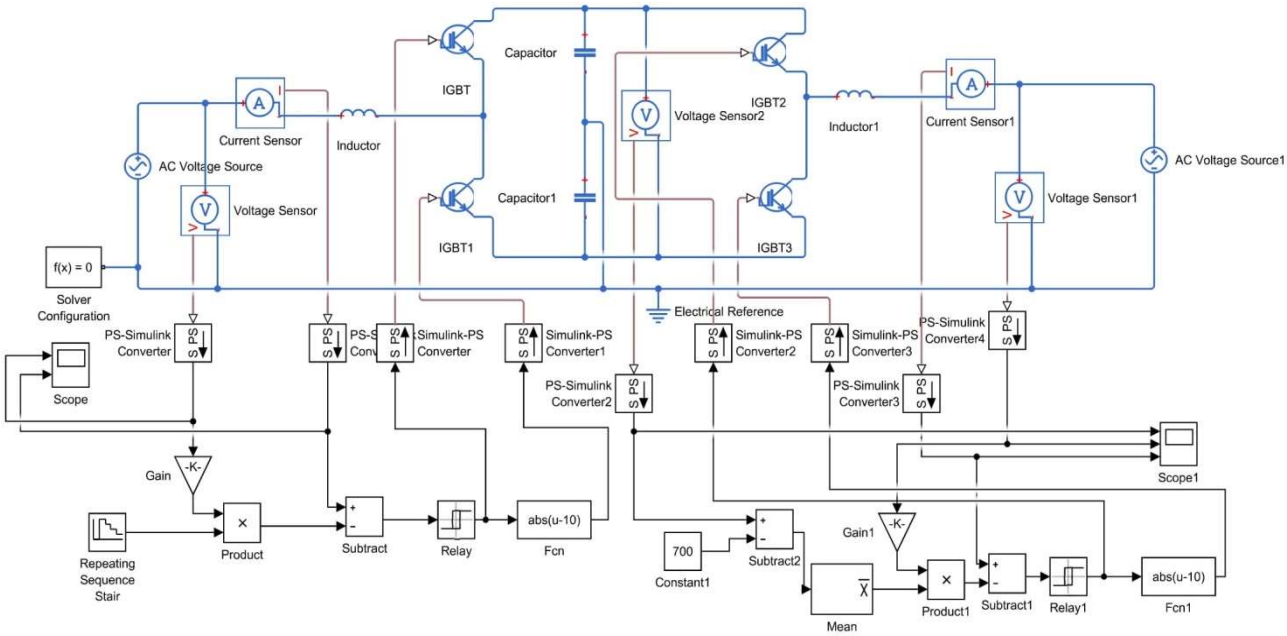
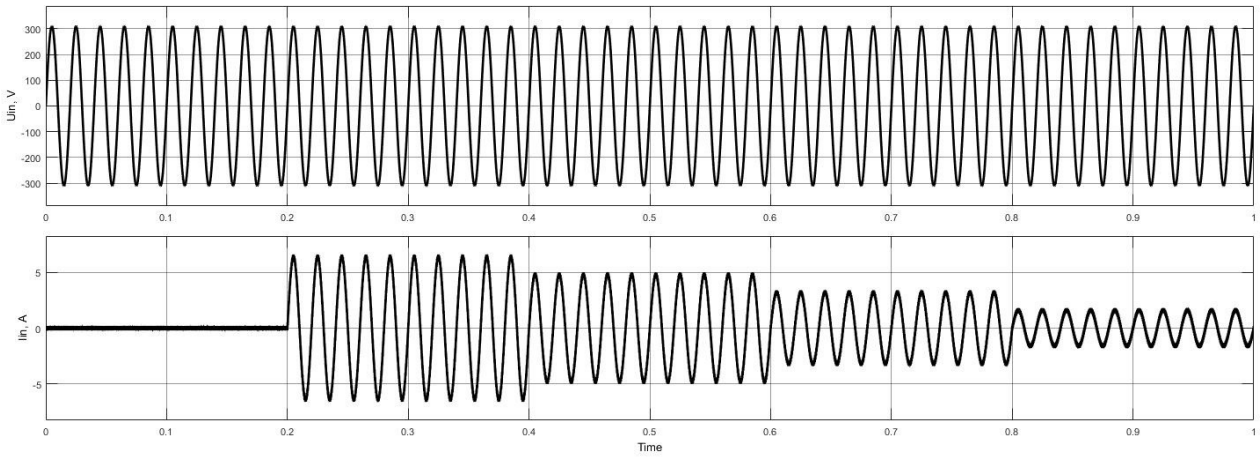


Figure 19. Virtual model of the AC electronic load.

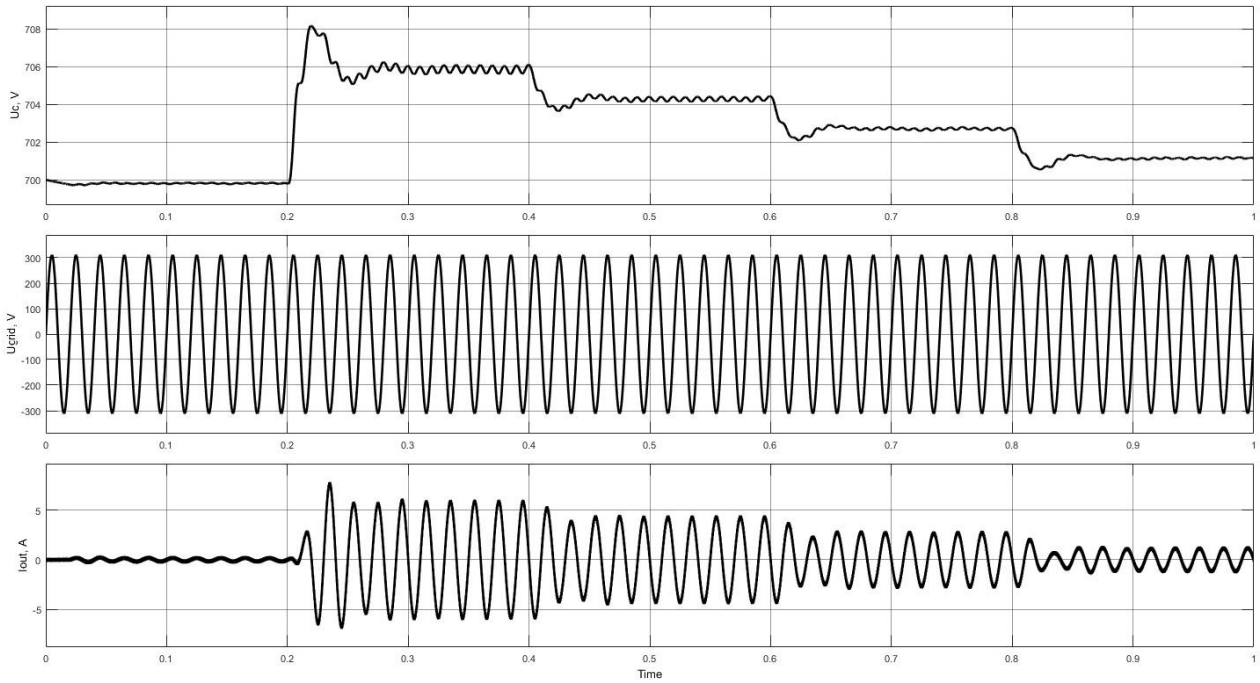
The Simscape library elements were used to model the power section of the electronic load. For power transistors modeling models of IGBT were used, which in their composition have a counter-parallel diode.

UPS testing process was considered. In this process UPS generates one alternating sinusoidal voltage (220 V, 50 Hz) with a power of 1 kW. This power level corresponds to a current with a RMS value of 4.54 A or an amplitude value of 6.4 A. For testing, it is necessary to provide input current formation at the levels of 25%, 50%, 75% and 100% of the specified value. The inductances of the input and output inductors are 20 mHn with an active resistance of 0.1 Ohms, and the capacitors of the DC link capacitors are equal to 5 mF. The calculation is carried out under the condition of a full

charge of the DC link capacitance to the value U_C = 700 V. The simulation results are shown in Fig. 20 a and b.



a)



b)

Figure 20. Modeling results: (a) are graphs of input voltage and current; (b) are graphs DC link voltage, grid voltage and output current.

The input current amplitude is set by the Repeating Sequence Stair unit, at the output of which a step signal of magnitudes 0, 6.4, 4.8, 3.2, 1.6 A is formed within time intervals of 0.1 s. The transmission factor of the voltage sensor is $1/U_{U\text{in.max}}$, respectively the current reference signal repeats the shape of the input voltage with a

step-by-step variable amplitude. The deviation of the input current are determined by the Relay unit and is equal to ± 0.1 A. Thus, relatively to the tested power source, the proposed converter has properties of resistive load.

The amplitude of the output current is given by the Subtract2 unit, which calculates the difference between the set value of the DC link voltage U_C^* and the true U_C value. The instantaneous value of the current reference signal is formed by the Product1 unit as the product of the amplitude reference signal and the signal proportional to the grid voltage. In this case, this signal is generated in counter-phase with the output voltage, which provides energy transmission to the grid. The deviation of the output current from the reference value, as well as for the input current, is determined by the block Relay1 and is equal to ± 0.1 A.

Analyzing the operation of electronic load as a whole, it can be seen that as the input current increases, the DC link capacitors are charging and the voltage on them increases. This, in turn, leads to increase of the output current amplitude. When the equilibrium is reached between the energy consumed from the tested UPS and the energy supplied to the grid, a quasi-steady state comes. The voltage U_C in this mode differs from the set value, which is caused by the implementation of proportional control of the output current, and this difference increases as the input current increases.

To quantify the quality of electronic load operation, the following parameters were calculated: total harmonic distortion (THD) of input and output current, efficiency, power factor (PF), which has an electronic load relative to the tested UPS. The power factor for linear loads is defined as the ratio of active power to full power. In the case of non-linear current distortions, the power factor must be calculated according to the expression:

$$PF = \cos\varphi \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + THD^2}}.$$

The results of calculations for steady-state modes of operation at loads corresponding to 25%, 50%, 75% and 100% of the nominal, are given in Table 1.

Table 1.

AC electronic load main parameters in steady state

Parameter	I_{IN} / I_{NOM}, %			
	25	***50***	***75***	***100***
THD_{IN}	0.1348	0.0702	0.0465	0.0367
THD_{OUT}	0.1322	0.0608	0.0407	0.0306
PF	0.991	0.997	0.998	0.999
Efficiency	0.787	0.882	0.92	0.939

As it can be seen from the given data, the THD increase as the input current of the electronic load decreases. This is due to the fact that with the decrease of the current main harmonic component, the harmonic components of the higher frequencies hardly change, and accordingly their ratio increases. The power factor decreases due to the increase of the THD, but for all load values its value exceeds 0.99.

The efficiency at small loads also decreases. This is due to the fact that the energy losses in such a device are mainly determined by the losses in the switching elements, which consist of static losses and switching losses. Static losses are proportional to the product of the current to the voltage of the transistor, and the switching depends on the switching voltage and switching frequency. Therefore, as the current decreases, the static losses are reduced proportionally, and the switching losses increases slightly through increasing the switching frequency, which in turn leads to a decrease in the efficiency. But this reduction is not significant because the overall level of energy losses while reducing current is also reduced.

The analysis showed that the use of power electronics devices in test equipment makes it possible to automate the process of testing and determination of the different electrical and electronic devices and systems characteristics, as well as to increase the energy efficiency of this equipment.

DOI 10.46299/ISG.2021.MONO.TECH.II-378-385

5.2 Люмінесцентні властивості плівок оксиду алюмінію та їх застосування в якості сенсорів

Спостережуваний в останні роки підвищений інтерес до вивчення умов утворення і дослідженню люмінесцентних властивостей матеріалів на основі оксиду алюмінію обумовлений необхідністю створення і вдосконалення економічних джерел світла і радіаційних дозиметрів для реєстрації всіх типів радіаційного випромінювання в навколишньому середовищі. Люмінесцентні методи контролю використовуються для визначення вмісту різних шкідливих сполук в пробах стічних вод [268,269].

Вода більшості поверхневих джерел водопостачання характеризується помірним і високим рівнем забруднення. Пріоритетними забруднювачами протягом багатьох років залишаються органічні сполуки, зважені речовини, нафтопродукти, феноли, важкі метали та ін. Оскільки не існує способів визначення речовин, в однаковій мірі чутливих для різних сполук, потрібно підбирати оптимальні методи, застосовувати особливі прийоми підготовки проб води, що спрощують ідентифікацію забруднюючих речовин і їх подальше кількісне визначення. Тому питання застосування нових чутливих і експресних методів для визначення як хімічних, так і біологічних показників актуальні і постійно затребувані при організації контролю якості води.

Раніше була встановлена можливість запасання світлосумми оксидами металів при їх взаємодії з парами води в результаті її дисоціації на поверхні твердого тіла [270]. Передбачалося, що світіння ряду напівпровідникових матеріалів в контакті з електролітом визначається енергетичними параметрами центрів, утворених адсорбованими на поверхні гідроксил іонами, які виконують функцію донорів, з локалізованими на них електронами [268,271]. Для з'ясування механізму люмінесценції оксидної плівки, зануреної в електроліт, як і при вивченні інших видів люмінесценції, значний інтерес представляє вивчення кінетики світіння.

В якості основи люмінесцентного сенсора використовувалися люмінесцентні структури $Al - Al_2O_3 - SnO_2$ і напівпровідникові плівки CdS. Оксидні плівки алюмінію отримувались електрохімічним окисленням алюмінієвої фольги у водному розчині (0,5 – 1%) щавлевої кислоти. Напруга формування становила 30 – 70 В, час формування 40 – 90 хвилин, що дозволяло отримувати плівки товщиною 30 – 50 мкм. Одним з електродів до плівки Al_2O_3 використовувалась алюмінієва фольга. В якості другого електрода використовувались шари SnO_2, нанесені на оксидну плівку методом піролізу $SnCl_4$ [268]. Осцилограми яскравості світіння вимірювалися на установці, що складається з світлонепроникної камери, фільтра, що поглинає ІЧ-випромінювання, фотоелектронного помножувача ФЭУ-100, вимірювача малих струмів ИМТ-005 і двохпроменевого осцилографа С8-17. Сигнал після посилення з анода ФЭУ-100 подавався на вхід осцилографа.

Прикладена синусоїдальна напруга до досліджуваного люмінофора, зануреного в електроліт, призводить до появи хвиль яскравості в кожен з напівперіодів напруги. Інтенсивність світіння в катодний і анодний напівперіоди можуть істотно відрізнятися один від одного. Однак і в разі електролюмінесценції тонких плівок спостерігаються хвилі яскравості світіння і в анодний, і в катодний напівперіоди. У зв'язку з труднощами інтерпретації кінетики розглянутого світіння люмінофорів в контакті з електролітом були проведені дослідження кінетики світіння при збудженні однополярними імпульсами напруги. Для більш повного вивчення впливу іонів електроліту на механізм світіння вивчалася також і кінетика світіння при збудженні напругою в формі двохполярної меандри. Це призводило до чіткого розмежування позитивних і негативних іонів електроліту, що надходять до поверхні досліджуваного матеріалу, при одній і тій же величині збуджуючої напруги, як в анодний, так і катодний напівперіоди.

Вивчення кінетики світіння при порушенні однополярним позитивними імпульсами напруги («+» на зразку) проводилося з плівками, зануреними в ряд

водних електролітів, для яких залежність інтенсивності світіння від величини pH проходить через максимум. В цьому випадку у збудженні світіння беруть участь як іони OH^-, так H^+. Температура електроліту підтримувалася постійною і становила $295K$. На осцилограмі яскравості світіння спостерігаються піки світіння, як в напівперіод, коли подавалася напруга, так і в напівперіод, коли поле відсутнє. Видимий спалах світіння в напівперіод, коли відсутня прикладається напруга, з'являється при амплітудах напруги $2-3B$. Однак інтенсивність цього свічення незначна. Збільшення амплітуди прикладається напруги, що прикладається, призводить до появи спалаху в анодний напівперіод і збільшення яскравості світіння в напівперіод, коли збудження електричним полем відсутнє.

Істотний вплив на інтенсивність і форму хвилі світіння надавала частота напруги, що прикладається. Так, з ростом частоти від 25 до 250 Гц інтенсивність світіння в анодний напівперіод істотно зменшується, а в напівперіод, коли напруга відсутня, інтенсивність світіння до деякого значення не залежить від його величини, а потім починає зменшуватися. Форма хвилі яскравості світіння залежить також і від типу використовуваного електроліту. Причому, якщо на інтенсивність світіння в анодний напівперіод це не мало значного впливу, то яскравість світіння в напівперіод, коли напруга дорівнювало нулю, істотно залежала від природи електроліту.

Виникнення світіння в анодний напівперіод напруги на оксидної плівці Al_2O_3 природно, так як воно обумовлено дією електричного поля. Виникнення спалаху світіння в напівперіод, коли напруга відсутня можна пояснити на підставі зроблених раніше припущень про механізм світіння люмінофорів в контакті з електролітом [272]. Необхідно відзначити, що світіння при збудженні електричним полем припиняється до встановлення нульової напруги на зразку. За решту полупериода напруги до його поверхні продовжують надходити негативні іони електроліту, які утворюють домішкові рівні донорної природи. Однак, в цей час позитивні іони електроліту H^+ ще не можуть надходити до

поверхні плівки Al_2O_3, так як діюче електричне поле все ще перешкоджає цьому. У момент часу t_0, коли напруга стає рівною нулю, досягається деяка концентрація заповнених електронами донорних центрів адсорбційної природи. При $t > t_0$ до зразка починають надходити позитивні іони електроліту, що утворюють на поверхні оксидної плівки акцепторні рівні з локалізованими на них дірками, в результаті чого стає можливим іонізація центрів світіння. Рекомбінація електронів, що надходять з донорних центрів, з іонізованими центрами свічення призводить до випромінювання світла.

На підставі вище викладеного розглянемо математичну модель поведінки кривих яскравості світіння. Так як оксид алюмінію є широкозонним напівпровідником, то наявність вільних електронів в зоні провідності, в основному, визначається природою і концентрацією донорних центрів, в даному випадку гідроксильних груп OH^-. Тому в нашому випадку інтенсивність світіння (B) визначається випромінювальними переходами електронів, кількість яких пропорційна кількості адсорбованих негативних іонів електроліту (N_1) і іонізованих центрів світіння ($R_0 - R$), тобто можна записати:

$$B = qN_1(R_0 - R),$$

де R_0 – загальна кількість центрів світіння, R - кількість неіонізованих центрів світіння, N_1 – кількість адсорбованих негативних іонів електроліту на домішкових рівнях в момент часу t, q – коефіцієнт рекомбінації.

Зміна кількості іонізованих центрів свічення в одиницю часу можна представити таким чином:

$$\frac{d(R_0 - R)}{dt} = aN_2R - bN_1(R_0 - R),$$

де N_2 – кількість адсорбованих позитивних іонів електроліту на домішкових рівнях в момент часу t, a і b – коефіцієнти пропорційності.

Відзначимо, що розглянутий нами пік світіння спостерігається при $0{,}5T < t$ T, де T – період напруги, що збуджує. В момент часу $0{,}5T = t$

кількість іонізованих центрів свічення дорівнює нулю, і тому при малих значеннях t кількість іонізованих центрів світіння буде визначатися тільки адсорбованими позитивними іонами електроліту,

Тобто $aN_2R \square bN_1(R_0 - R)$ і тоді можна записати:

$$\frac{d(R_0 - R)}{dt} = aN_2R.$$

Припускаємо, що ймовірність термічного викиду дірок з центрів свічення в валентну зону практично дорівнює нулю.

Зміна кількості позитивних іонів електроліту на центрах адсорбційної природи в рамках теорії Ленгмюра можна представити таким чином:

$$\frac{dN_2}{dt} = \alpha(N_{02} - N_2) - \beta N_2, \tag{1}$$

де $\alpha(N_{02} - N_2)$ – кількість адсорбованих позитивних іонів електроліту за одиницю часу, $-\beta N_2$ – кількість десорбованих позитивних іонів електроліту з поверхні плівки Al_2O_3 за одиницю часу, N_{02} – загальна кількість центрів адсорбційної природи, α і β – коефіцієнти, які мають сенс швидкості адсорбції і десорбції.

Інтегруючи вираз (1) при початкових умовах $N_2 = 0;\ t = 0$, отримуємо:

$$N_2(t) = \frac{\alpha N_{02}}{\alpha + \beta}\left[1 - \exp-(\alpha + \beta)t\right]. \tag{2}$$

Тоді зміна кількості іонізованих центрів свічення в одиницю часу:

$$\frac{d(R_0 - R)}{dt} = aR\frac{N_{02}}{1 + \frac{\beta}{\alpha}}\left[1 - \exp-(\alpha + \beta)t\right]. \tag{3}$$

Інтегруючі вираз (3) з урахуванням початкових умов $R = R_0, t = 0$ отримуємо:

$$R = R_0 e^{-kt} e^{-\frac{k}{m}e^{-mt}}, \tag{4}$$

де $m = \alpha + \beta$, $k = \dfrac{aN_{02}}{1 + \frac{\beta}{\alpha}}$.

Зміна кількості адсорбованих негативних іонів електроліту (OH^- – груп) на поверхні плівки Al_2O_3:

$$\frac{dN_1}{dt} = -\gamma N_1, \tag{5}$$

де $-\gamma N_1$ – кількість негативних іонів електроліту, що десорбується з поверхні люмінофора за одиницю часу, γ – коефіцієнт, який має сенс швидкості десорбції негативних іонів електроліту.

В даному випадку, при малих значеннях часу після встановлення нульової напруги на плівці, внаслідок того, що поверхня в анодний напівперіод напруги заряджається негативно, до досліджуваної плівці починають надходити позитивні іони електроліту і, отже, можна знехтувати процесами адсорбції негативних іонів електроліту.

Виходячи початкових умов $N_1 = N_{01},\ t = 0$ і інтегруючі вираз (5), отримуємо:

$$N_1 = N_{01} e^{-\gamma t}. \tag{6}$$

Отже, рівняння для визначення інтенсивності світіння, з урахуванням отриманих виразів для N_1 і $(R_0 - R)$, рівнянь (4) і (6), відповідно набуває вигляд:

$$B = qN_{01}R\left[1 - e^{-kt} e^{-\frac{k}{m}e^{-mt}}\right] e^{-\gamma t}. \tag{7}$$

Аналіз функції (7) показує, що функція $B(t)$ з часом проходить через максимум, причому час, при якому спостерігається максимум світіння, визначається процесами адсорбції і десорбції іонів електроліту на поверхні плівки Al_2O_3. Проведений аналіз експериментальних і розрахункових кривих дав гарний збіг.

На підставі розглянутого механізму виникнення піку світіння в напівперіод, коли напруга дорівнює нулю, можна пояснити частотну залежність яскравості світіння, що спостерігається в цей напівперіод.

При малих частотах за напівперіод позитивної напруги, що подається, встигають заповнитися рівні на поверхні люмінофора аніонами і аж до деякого значення частоти з її ростом інтенсивність практично не буде змінюватися. Подальше зростання частоти призводить вже до того, що іони OH^- не встигають заповнити всі центри на поверхні люмінофора. Отже, менша кількість електронів прорекомбінує випромінювальне з іонізованими центрами світіння.

Як зазначалося раніше, при збільшенні частоти відбувається не тільки зменшення інтенсивності світіння, а й зміщення положення максимуму світіння в область більш довгих часів. Зсув максимуму обумовлено тим, що час, коли спостерігається максимум світіння, визначається тільки адсорбцією і десорбцією іонів електроліту на поверхні окисної плівки алюмінію і не залежить від частоти напруги, що подається. З ростом частоти напівперіод буде зменшуватися і тому час спостереження максимуму буде зміщуватися в область великих часів по відношенню до тривалості напівперіоду.

Вивчення кінетики світіння показало також істотну роль типу електроліту на інтенсивність світіння. Так як інтенсивність світіння визначається, в основному, адсорбційними процесами на поверхні плівки в електроліті, то в залежності від коефіцієнтів активності іонів електроліту інтенсивність світіння буде зменшуватися або збільшуватися. В електролітах з більш активними іонами (розчини $NaCl$, KCl, $NaBr$) відбуваються більш активно адсорбційні процеси і інтенсивність світіння в них буде більше, ніж при вимірах інтенсивності світіння в менш активних електролітах (розчинах KBr, NaI), що володіють, відповідно, меншою адсорбційною здатністю. Необхідно почеркнуть, що істотний вплив природи електроліту позначається тільки на спалах світіння, що спостерігається в напівперіод, коли напруга відсутня.

Таким чином, на підставі розглянутих вище експериментально отриманих залежностей кривих кінетики світіння можна зробити висновок, що за виникнення світіння плівок Al_2O_3, поміщених в електроліт, відповідальні іони електроліту обох знаків і світіння обумовлюється випромінювальними

переходами електронів, що поставляються негативно зарядженими іонами електроліту, адсорбованими на поверхні оксидної плівки. Причому, кількість іонізованих центрів світіння пропорційна кількості адсорбованих позитивних іонів електроліту на поверхні люмінофора. Необхідно відзначити, що вид описаної вище кінетики світіння спостерігається у всіх люмінофорів, у яких залежність інтенсивності світіння від величини *pH* проходить через максимум, так як за виникнення світіння в напівперіод, коли напруга дорівнювала нулю, відповідальні іони електроліту обох знаків.

Раніше нами показано вплив природи електроліту на інтенсивність світіння ряду люмінофорів в контакті з електролітом. Проводилися дослідження впливу концентрації аміаку, перекису водню розчинених у водних розчинах на інтенсивність люмінесценції оксидних плівок алюмінію, занурених в ці розчини. Показано, що істотний вплив на чутливість визначення концентрації аміаку в електролітах надає технологія отримання плівок. У даній роботі представлені результати дослідження впливу концентрації аміаку, розчиненого у водних розчинах, на інтенсивність люмінесценції люмінофорів, занурених в ці розчини. Запропоновано механізм світіння, що враховує залежність інтенсивності світіння від концентрації речовини, розчиненої в електроліті. Зміну яскравості світіння можна пояснити тім, що додавання аміаку в розчин призводить до зміни величини *pH,* яке в свою чергу призводить до збільшення інтенсивності люмінесценції. Поріг чутливості зменшується з ростом температури і при кімнатній температурі складає величину 10^{-11}моль/л.

Показана можливість створення люмінесцентного сенсора аміаку на основі оксидних плівок алюмінію для вимірювання концентрації аміаку у воді і водних розчинах, що дозволяє судити про оцінку якості очищення стічних вод з їх допомогою.

SECTION 6. FOOD TECHNOLOGY

DOI 10.46299/ISG.2021.MONO.TECH.II-386-401

6.1 The research of consumer properties of gerodietic dry soluble product for enteral nutrition

The current demographic structure of population, both on international and national levels, shows the great increasing of population's aging level. So, according to the data of the World Health Organization's specialists in 2025 the number of older age groups representatives will increase almost by 6 times comparing with 1950. In such a way, the quantity of people, who form elder aging group, will make about 20% of the total Earth population [273]. Also, according to this forecast [273] in 2050 the quantity of people, whose age is over 60, will reach 30% and the quantitative equivalent of them will compose nearly 2 billion of people. Interpolating analyzed facts on national scale, it is necessary to note that our country ranks number 10 in the world ratings in quantity of elder aging group's representatives and total dynamics of population aging [274]. That is why these researches are especially actual for Ukraine.

It is widely recognized that physiological aging is characterized by gradual changes in the state of human body organs and systems, a decrease in the activity of the metabolism. Changes and disorders in the digestive, cardiovascular, immune, nervous, bone and muscular systems are especially noticeable and negative for humans while aging. This situation determines the importance of the geriatric problem, the negative effects of which provoke degenerative diseases of heart, blood vessels, kidneys, digestive organs, musculoskeletal system, including joints, etc. [275, 276]. In this regard it is reasonable to influence the nature, pace and orientation of these changes in metabolism, adaptation and compensatory processes by rationally provided optimal nutrition. Nutrition as one of the most important factors of life should meet the specific needs of natural aging [275–277]. Nowadays there is a considerable amount of theoretical and experimental data in the sphere of gerontology. This scientific information allows to state that its inadequacy of nutrition by its energy value, amino and fatty acids content, vitamins and minerals cause imbalances and, as a consequence, the occurrence of pathologies.

Optimal and scientifically substantiated in accordance with the specificity of aging nutritional needs and the use of special hereditary products, developed in accordance with rational scientifically-based principles, allow to prevent the development of different disorders in the human body of older age groups, contribute to improving of their life quality.

Especially important full-value satisfaction of nutritional needs became for the representatives of elder aging groups, who have high physiological and psycho-emotional loads, metabolic dysfunctions, violations and traumas. That is why in modern practice consumption of food products for special medical purposes – enteral nutrition became widely used. This nutrition contains goal-oriented modeled composition of nutritive components to ensure needs in nutrients and correct smitten physiological processes.

The analysis of market's current state of these special food products group at international and national level gives an opportunity to state its dynamic and rapid development [278, 279]. The volume of these products current world market exceeded 4.5 billion US dollars. It has significant annual growth rates (an average level 10% annually) [278]. This can be explained by an increase in the general level of population morbidity, physical and psycho-emotional stresses, aging rate and natural environmental situation deterioration. At the same time, it is important to note insufficiently saturation of Ukrainian market by products for enteral nutrition [279]. It is explained by high financial value of imported products and absence of properly saturated assortment of these goods, which were produced by national manufactures.

Basing on the comparative analysis of the professional literature [276, 277, 280–283] data and its complex scientifically substantiated systematization, it was researched and found that the optimal ratio of macronutrients (%) in the rationally based nutrition of elder groups representatives is following: proteins : lipids : carbohydrates 16–20 : 25–30 : 55–60. The recommended quantitative norms of consumption major energy substrates for the older age groups representatives are presented in Table 1. Additionally, it must be noted that gerontologists and

nutritiologists recommend limiting carbohydrate intake for people with low-moving lifestyle [275, 276, 278].

Table 1.

Recommended norms of macronutrients consumption
by representatives of older aging groups

Age and gender groups	Recommended norms of consumption, g/day		
	proteins	lipids	carbohydrates
60–74 years old:			
men	72–105	50–70	240–310
women	64–100	44–67	220–295
74–90 years old:			
men	64–72	44 –50	220–240
women	56–68	39–57	193–112

Particular attention in the process of analysis and systematization of data about the nutritional needs of elderly and long-lived people [276, 277, 280-282] deserve information about the composition of basic macronutrients. Such a way, in addition to bringing the amino acid score diet into accordance with the recommendations of FAO/WHO specialists, it is necessary to ensure the proportion of essential amino acids is at least 40% of the total protein [277, 280, 282]. Taking into account the need to form a proper level of digestibility, it is more appropriate to represent the protein component of nutrition at the expense of dairy, egg and fish products. The analysis and systematization of scientific data about the lipid component of gerodietetic diets [281, 282, 284] gives a background to summarize that the optimal ratio of vegetable and animal fats should be 1: 2, omega-3 and omega-6 fatty acids– 4 : 1. In addition, it should also be noted that the optimal intake of dietary fiber should be nearly 30–40 g/day [280, 283].

An important role in rational ensuring the physiological processes of the elder aging groups' representatives is given to vitamins and mineral elements, especially to those, which have antioxidant properties.

Basing on the results of the provided analysis and generalization of scientific literature and experimental data [275, 280–282], it was established that the optimal daily intake of vitamins for elderly and long-lived people must be following, mg: retinol – 0,9–1,1, thiamine – 1,5–1,7, riboflavin – 1,5–2,0, niacin – 13,0–20,0, pantothenic acid – 5,0, pyridoxine – 2,0–3,5, ascorbic acid – 900–1100, tocopherol – 15–20; mcg: biotin – 50, folic acid – 230–400, cyanocobalamin – 3–4, calciferol – 15, phyloquinone – 120.

Also the recommended daily norms of mineral elements consumption were analyzed and systematized, mg: Sodium – 2500, Potassium – 2500, Calcium – 800–1200, Phosphorus – 800–1200, Sulfur – 800–1200, Magnesium – 400–500, Ferum – 10–18, Zinc – 12–15, Fluorine – 0.75–4, Mangan – 2, Cuprum – 1; mcg: Iodine – 150, Molybdenum – 60, Selenium – 50-70, Nikole – 50, Chromium – 50, Aluminium – 30-40, Bromine – 25.

Due to the established relevance of the creation of new products for enteral nutrition and basing on analytic data about peculiarities of the older aging group representatives' nutritional needs [275–284] the specialists of the Kyiv National University of Trade and Economics (KNUTE) and the State Institution "Ukrainian National Academy of Medical Sciences Institute of Gerontology n. a. D.F. Chebotarev" have developed and patented the gerodietetic dry soluble product for enteral nutrition [285]. Its components composition is presented in Table 2.

Table 2.

Qualitative and quantitative component composition of the developed gerodietetic dry soluble product for enteral nutrition

Component, measurement units	Content in 100 g of dry soluble product
maltodextrin monodisperse, g	25,00
glucose, g	21,50

Continuation of Table 2.

Qualitative and quantitative component composition of the developed gerodietetic dry soluble product for enteral nutrition

Component, measurement units	Content in 100 g of dry soluble product
protein concentrate, manufactured from dairy whey WPC-80, g	20,00
omega-3 polyunsaturated fatty acids in casein matrix, g	10,50
fructose, g	10,00
dietary fiber, g	5,40
food starch, g	4,00
l-glutamine, g	2,00
l- methionine, g	0,50
l- tryptophan, d	0,30
ascorbic acid (vitamin C), g	0,25
ginseng root extract, g	0,20
l- tyrosine, g	0,10
glucosamine, g	0,10
creamery calcium, g	0,07
magnesium hydrophosphate, g	0,035
coenzyme Q10, mg	37
β -carotene, mg	5
thiamine (vitamin B1), mg	1
riboflavin (vitamin B2), mg	1
pyridoxine (vitamin B6), mg	1
calciferol (vitamin D3), mcg	6

Preparation of the developed product for consumption (usage) is carried out by dissolving a portion of the dry mixture (50 g) in 200 cm^3 of boiled water at a

temperature of 15-40 °C (an additional increase of the water amount on 40 cm^3 (depending on the preferences of consumers) is possible). The proposed gerodietetic product for enteral nutrition does not cause a significant increase in blood sugar for people belonging to the older age groups, slowing down the aging process, normalizes nutrient metabolism and emotional state and improves the immune system and antioxidant protection.

It is envisaged that the proposed product can be used for both oral nutrition and tube feeding. It should also be noted that the use of the product is preferably orally, as an additional source to the main nutrition (approximately 2-5 servings/day per 50 g of dry product in the dissolved state depending on the human body condition and physiological characteristics). Also, it is specified by provided recommendations that the developed gerodietetic product for enteral nutrition can be used as a staple source of nutrition during a short period of time (up to 5-7 days).

The normative documentation (changing to the existing Technical Condition (TC) of Ukraine 15.8-32453003-002: 2007 “Functional dry products of special purpose TM “Vansiton” and new Technological Instruction (TI) for the manufacturing of the proposed gerodietetic product for enteral nutrition was developed and approved.

To study the nutritional, in particular energy and biological, value of the developed dry soluble gerodietetic product for enteral nutrition, which determines the level of needs satisfaction of the target consumers group, a complex of experimental laboratory researches has been implemented. During its realization the samples of the proposed product, which were manufactured in the production conditions of legal entity “DelMas LTD” (Dudarkiv village, Kyiv region, Ukraine), were researched.

The dry soluble product for enteral nutrition “Peptamen”, manufactured by Nestle corporation (Switzerland), was used as a control sample. It has similar recommendations for usage and also, it must be mentioned, is realized in tin cans with a plastic lid. The components of its ingredient content are maltodextrins, enzymatically hydrolyzed dairy whey and soy proteins, sucrose, fructose, medium chain triglycerides, potato starch, soybean oil, soy lecithin, calcium carbonate, sodium phosphate, magnesium chloride, choline bitartrate, flavoring, identities natural (vanillin),

potassium phosphate, sodium ascorbate, magnesium citrate, carnitine, taurine, niacin, zinc sulfate, pyridoxine hydrochloride, retinol acetate, thiamine, riboflavin, folic acid. Sampling and preparation of dry soluble products samples for research were carried out by random sampling in accordance with GOST 15113.0-77 [286].

The main factor that makes it possible to evaluate the nutritional, especially energy, value of products for enteral nutrition is the content of macronutrients. In view of this, the content of its proteins, lipids, and carbohydrates was investigated for establishing the conformity of the products to the needs of the target contingent of consumers (representatives of the older age groups). While carrying out these researches following methods were used: protein content was determined by the Kjeldahl method [287], lipids – by the Soxlet [288], carbohydrates – by the Bertrand method [289]. The results, which were received in the process of research, are presented in Table 3.

Table 3.

The content of macronutrients in dry soluble products, g/100 g

P≥0,95, n=15

Macronutrients	Control sample	Developed product
Proteins	18,49±0,21	18,18±0,26
Lipids	17,79±0,15	11,82±0,12
Carbohydrates	56,81±0,48	62,08±0,44

The obtained experimental data allow us to conclude that the investigated products for enteral nutrition are characterized by a high content of protein component. This is due to the fact that proteins have the specific metabolic effects, which are explained by special metabolic activity of these products on the human body (recovery of protein losses, provision of plastic material for muscles and bones). It should also be noted that the lipid content of the proposed product is almost on 50% lower and the level of carbohydrates on 9% higher.

For the determination of the conformity of the macronutrients content in the samples to those norms, which are recommended for the elderly people [275–284], the

total energy value of 100 g of dry soluble mixtures and the percentage of major nutrients in the total energy value were calculated. The received results are presented in Table 4.

Table 4.

Total energy value and percentage of major macronutrients in it for the researched products

Products	Total energy value, kcal	Macronutrients share in total energy value of products, %		
		Proteins	Lipids	Carbohydrates
Control sample	461,4	16,0	34,8	49,2
Developed product	421,4	17,3	25,2	57,5

Basing on the results of the calculation and analysis of the energy value of the developed product sample, comparing with the control one, the conclusion that the control product is characterized by a higher energy value (on 9.4%) must be made. Also, basing on the obtained results of the experiments about the ratio of macronutrients in the developed gerodietetic product for enteral nutrition, it can be stated that it meets the analyzed specific needs of the elder people in the main food substrates. At the same time, the percentage of macronutrients in the total energy value for the control product does not meet the norms recommended for people of older age groups [275–284].

The statement that the proteins are one of the most important food substances is considered to be dogmatic from the standpoint of modern nutritional science. The main factor, which defines proteins' biological value, is the balance and correspondence of amino acids composition [290, 291].

The relevant researches were conducted with the aim to identify qualitative and quantitative data about the content of amino acids in the developed product It was identified by using the liquid-column ion-exchange chromatography method [294, 295]/ The automatic analyzer of amino acids AAA 400 (produced by company Ingos-Laboratory Instruments (Czech Republic) was used for it after preliminary done acid

hydrolysis. Fractionation of amino acids into individual ones was made on a chromatographic column, filled with an ion exchanging resign Ostion LG FA. The research results about samples amino acids qualitative and quantitative composition are presented in Table 5.

Table 5.

The amino acids composition of products for enteral nutrition, mg/g of crude protein

$P \geq 0,95$; $n = 5$

Amino acids name	Products content, mg/g of crude protein	
	Control sample	Developed product
Essential amino acids		
Isoleucine	45,8 ± 2,2	44,8 ± 2,6
Leucine	79,4 ± 3,8	71,4 ± 3,4
Lysine	65,6 ± 3,1	64,8 ± 3,2
Methionine	22,5 ± 0,9	35,6 ± 1,7
Threonine	48,1 ± 2,2	50,1 ± 2,7
Tryptophan	14,4 ± 0,6	17,4 ± 0,8
Phenylalanine	27,9 ± 1,2	34,3 ± 1,4
Valine	57,3 ± 2,3	51,5 ± 2,2
Total	361,0 ± 16,3	369,7 ± 18,2
Conditionally essential amino acids		
Cystine	13,5 ± 0,7	10,4 ± 0,5
Tyrosine	25,7 ± 1,1	26,4 ± 1,2
Total	39,2 ± 1,8	36,8 ± 1,7
Nonessential amino acids		
Alanine	46,1 ± 2,1	47,4 ± 1,8
Arginine	39,5 ± 1,8	22,1 ± 0,7
Asparagine acid	107,5 ± 5,1	103,4 ± 4,3

Continuation of Table 5.

Amino acids name	Products content, mg/g of crude protein	
	Control sample	Developed product
Glutamine	237,1 ± 11,0	268,1 ± 11,8
Glycine	21,0 ± 0,9	21,1 ± 0,6
Histidine	34,7 ± 1,2	15,7 ± 0,6
Ornithine	Traces	
Proline	64,0 ± 2,9	63,8 ± 2,4
Serine	49,9 ± 1,8	51,9 ± 1,9
Total	599,8 ± 26,8	593,5 ± 24,1

Basing on the conducted analysis of the received data results, it was established that the developed gerodietetic product for enteral nutrition proteins are characterized by high content of essential amino acids (369,7 mg/g of crude protein). Also, it has been established that the proposed product contains conditionally essential amino acids (36,8 mg/g of crude protein) and nonessential amino acids (593,5 mg/g of crude protein). The presence in the developed product of high glutamine content (268,1 mg /g of crude protein) is stipulated by the necessity for human body regeneration and satisfying the nutritional needs [275, 294]. The content of essential, conditionally essential and nonessential amino acids in the developed product is almost equal with the control one. The difference is within the measurement accuracy.

The basic method, which is used nowadays for assessment of proteins biological value, is the researching of amino acid score. In its turn, it allows to characterize the proteins basing on the content of each essential amino acids residues in relation to its master sample values, which are developed in accordance with the recommendations of the FAO/WHO profile committee specialists [295] (Table 6).

Table 6.

Products for enteral nutrition essential amino acids score

Essential amino acids	FAO/WHO scale [295]	Control sample		Developed product	
		mg/g of crude protein	score, %	mg/g of crude protein	score, %
Isoleucine	40	45,8	114,5	44,8	112,0
Leucine	70	79,4	113,4	71,4	102,0
Lysine	55	65,6	119,3	64,8	117,8
Methionine + cystine	35	36,0	102,9	46,0	131,4
Threonine	40	48,1	120,3	50,1	125,3
Tryptophan	10	14,4	144,0	17,4	174,0
Phenylalanine + tyrosine	60	53,6	89,3	60,7	101,2
Valine	50	57,3	114,6	51,5	103,0
Total	–	409,6		406,7	–

Basing on data, stated in Table 6, it was confirmed, that the protein part of the developed gerodietetic product for enteral nutrition is characterized by high protein component biological value. It is so because it contains a balanced essential amino acids composition. The dominant amino acid for both samples is tryptophan (174,0% for developed product, 144,0% for control one); limited – phenylalanine and tyrosine (101,2% for developed product, 89,3% for control one). The improvement of the developed product's amino acid composition can be explained by the usage of protein-based whey concentrate WPC-80 of high biological value.

The conducted assessment of the analyzed products proteins amino acid score doesn't give an opportunity to research their biological value totally. The proteins component of nutrition, which is used for building and plastic processes, can be spent only in measures of limiting amino acids. The excess of these nutrients is directed for meeting energy needs. That is why the protein component's biological value was also

assessed by using the amino acid score difference factor (AASDF) by comparing with the content of ideal one (according the recommendations of FAO/WHO expert committee specialists [295]) and using the following formula [296, 297]:

$$BV = 100 – AASDF = 100 – \sum\Delta RAAS / n$$

where BV – the biological value of product protein component, %;

AASDF – the amino acid score difference factor, %

∑Δ RAAS – the ratio of each essential amino acid (EAA) score to the minimal essential amino acid score, %;

n – the quantity of essential amino acids (8).

The received results of it are presented in Table 7.

Table 7.

The biological value of products for enteral nutrition protein component

Index	Master sample	Control sample	Developed product
The amino acid score difference factor (AASDF), %	0	25,4	19,7
Biological value, %	100	74,6	80,3

Basing on the results of the conducted research it was established that the developed gerodietetic dry soluble product's for enteral nutrition amino acid score difference factor (AASDF) was 19,7%. It is 28,9% less than the corresponding index of the control sample. The biological value of the developed gerodietetic product's protein part is on 7,6% higher than the corresponding index of the control sample.

Another important factor that provides nutritional, first of all biological, value is the elemental composition of products. It is very important to note that in products for enteral nutrition it mainly depends on the elemental composition of used raw materials.

The elemental composition of products for enteral nutrition was researched by using the method of mass spectrometry with inductively coupled plasma [298–300]

after the mineralization of the samples. Mass spectrometer VARIAN 320MS (Australia) and special software ICPMS Expert were used for it. Repeatability of experiments was quintuple, of analyzes – triple. The mathematical and statistical processing of the experiments results was performed on a computer using MS Excel program. The reliability of the obtained results deviation was identified: its value should be no more than 3%.

The results of elemental compositions contents research of control sample and the developed gerodietetic dry soluble product for enteral nutrition are presented in Table 8. Also, the data about the level of needs in mineral elements satisfaction for elder aging group representatives after the prepared (dissolving 100 g of dry soluble mixes in boiled water in accordance with the provided recommendations) products portions' consumption is demonstrated in this table.

Table 8.

Elements composition of products for enteral nutrition

$P \geq 0.97$; $n = 15$

Element	Daily requirement	Control sample content	Developed product content
Macroelements, mg/100 g			
Potassium	2500	576,74±0,46	593,82±0,41
Sodium	2500	364,42±0,14	553,44±0,22
Calcium	1000	358,63±0,44	364,26±0,27
Magnesium	450	186,41±0,57	172,03±0,29
Phosphorus	1000	325,17±0,52	342,11±0,32
Chlorine	2300	466,82±0,02	167,13±0,01
Sulfur	1000	10,51±0,03	20,66±0,02
Microelements, mcg/100 g			
Ferum	14000	5386,17±0,37	3242,72±0,28

Continuation of Table 8.

Element	Daily requirement	Control sample content	Developed product content
Zinc	1200	6332,64±0,64	3156,32±0,36
Mangan	2000	1214,51±0,23	181,63±0,12
Cuprum	1000	623,66±0,14	213,84±0,06
Iodine	150	42,11±0,29	33,43±0,32
Selenium	60	17,63±0,03	18,31±0,04
Molybdenum	60	5,67±0,04	9,16±0,07
Chrome	50	17,36±0,04	18,57±0,02
Nicole	50	4,71±0,84	11,16±0,11
Aluminum	35	3,62±0,08	7,20±0,09
Bromine	25	0,42±0,01	1,74±0,01

It was researched (figure 1) that consumption of prepared portion of the developed product for enteral nutrition provides the average recommended daily requirement of the older aging groups representatives in mineral elements on 2,07–38,23% (control product on 1,05–41,42%). It should be noted that the developed product provide an ability to satisfy daily needs in mineral elements in more propriate, balanced way at the level 10,40–25,8%, while control sample – 1,0–62,4%. Also, the proposed product is characterized by a high level of satisfaction of the daily requirement in Calcium and Magnesium (33,94% and 38,23%), which are especially needed in the process of human body bones and soft tissues rehabilitation and regeneration.

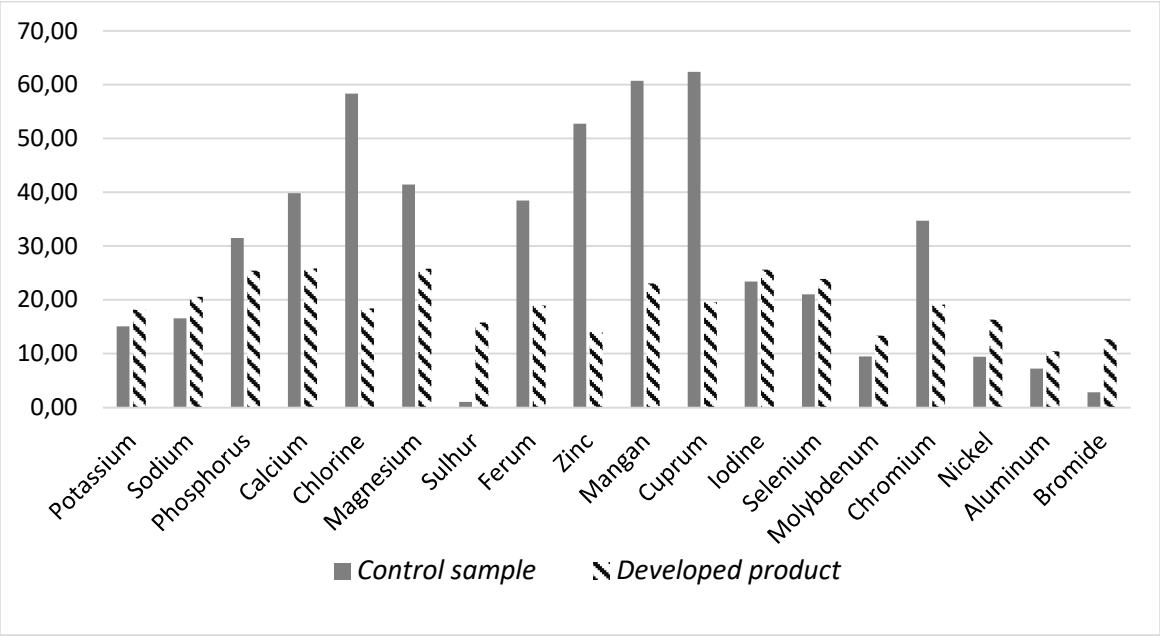


Figure 1. The level of satisfaction of the average daily requirement of older age groups in the main mineral elements

It has been experimentally researched that the ratio of elements Potassium / Sodium, Calcium / Phosphorus in the developed gerodietetic product for enteral nutrition is 1.07 and 1, 1.06 and 1 respectively (for the control sample this ratio is 1.58: 1 and 1.1: 1 respectively). It must be told that these values are very close to the recommended for the optimal fixing (1 : 1 and 1 : 1 respectively) [301–304]. This, in its turn, indicates a high degree of these elements fixing availability by the human body.

The data obtained confirm that the usage of the selected raw material components makes it possible to partially provide the developed gerodietetic product for enteral nutrition with the necessary macro- and microelements. Thus, the main components at the expense of which the formation of the elemental composition of the developed product was ensured, were whey protein concentrate WPC-80, omega-3 polyunsaturated fatty acids (based on seaweed of the species Ulkenia sp.), ginseng extract and additionally introduced minerals (dairy calcium and magnesium hydrophosphate). The satisfaction of the full daily needs of a human organism in mineral elements is supposed to be expensed by consumption of other food products.

It is experimentally proved that elemental composition of developed dry soluble product for enteral nutrition of elder aging groups representatives is better than the appropriate one of control sample, in which only 7 elements out of 18 have higher content (Magnesium, Chlorine, Ferum, Zinc, Mangan, Copper, Iodine). In particular, developed product contains almost twice as much Sodium, Sulfur, Molybdenum, Aluminum, Nicole and Bromine. Also, in contrast to the control product, in which the mineral elements were added artificially in the form of salts, in the developed product they are presented in the native form. Therefore, the elements of developed product will be better absorbed by the human body.

In such a way, on the basis of the analyzed information about the composition of nutrients, protein value (amino acid composition), the qualitative and quantitative content of vitamins and mineral elements of the developed gerodietetic dry soluble product for enteral nutrition its high nutritional and biological value was determined.

Finally, on the basis of the analyzed information on the composition of nutrients, amino acid composition, mineral elements' qualitative and quantitative content of the developed gerodietetic dry soluble product for enteral nutrition, its rather high energy and biological value were determined. It was found that the content of macronutrients, the balance of amino acid composition, the content of macro- and micronutrients of the proposed product meet the norms, recommended for older age groups representatives. Through this process, the developed gerodietetic product for enteral nutrition can be recommended for consumption by representatives of the older age groups with high physiological and psycho-emotional loads, metabolic dysfunctions, disorders and injuries, also during treatment and rehabilitationperiods.

DOI 10.46299/ISG.2021.MONO.TECH.II-402-407

6.2 The study of the ability of soy isolates of different trademarks to interact with water molecules

Plant proteins are used in many areas of the food industry because they have properties, which are necessary to stabilize the quality of combined food products and lower cost compared to alternative additives of animal origin, such as milk powder, casein, egg white and egg yolk, gelatin. In addition, plant proteins (their concentrates and isolates) have a number of functional properties, such as emulsifying, stabilizing, water-binding, texture-forming abilities, absorption of fat and water, etc. [305].

Cereals and legumes (especially soybeans) are still one of the most important resources of plant proteins for food purposes. The most promising raw materials for the production of protein preparations are legumes - peas, beans, lentils, chickpeas, lupines, the protein content of which ranges from 18 to 40% [306].

Soy isolates are a unique plant protein preparation: the mass fraction of protein in them is 92-95%, which is easily absorbed by the body. A special advantage of soy protein isolate is its ability to form gel, including when it is heated. In terms of functional properties, soy isolate is close to muscle proteins. It is used for technological purposes in the manufacture of sausages, to replace expensive myofibrillar muscle protein, in the production of emulsions from low-grade and frozen raw meat materials [307].

The range of protein isolates is constantly increasing. New types of these drugs are conventionally divided into two groups. The first group includes isolates which molecular properties are modified as a result of changes in the degree of ionization the proteins ionic groups during the formation of different salts, as well as when mixing isolates with various additives (emulsifiers, vitamins, mineral salts). The second group includes isolates which molecular weight is modified by enzymatic or chemical hydrolysis. The functional properties of protein isolates are determined by their average molecular weight, the depth of hydrolysis, the nature and degree of ionization and the chemical nature of the used additives [308].

Technologically, soy isolate is perfectly combined with meat raw materials as it behaves like low-fat types of meat and has an increased water-binding capacity,

emulsifying properties and forms strong gels. The effect of high temperatures does not impair the functional and technological properties (FTP) of the soy product. The homogeneity of the chemical composition of soy isolate makes it easy to predict the nature of technological changes in meat emulsions when using it [309].

Studies have shown that FTP of soy protein preparations were similar to the structure-forming muscle proteins of lean meat.

The production of highly concentrated protein preparations (isolates and concentrates) is concentrated at factories in the USA, Western Europe, Japan and Israel. In recent years, own production of concentrates and isolates has been actively developing in China and India. The leading manufacturers are Archer Daniels Midland (ADM, USA) and Proteir Techology International (PTI, USA), Moguntsiya (Germany), and Central Soya (Denmark).

Now the creation of competitive meat products is currently inextricably linked with the use of protein preparations. This allows to stabilize the protein matrix, emulsify fat with water and facilitate its incorporation into this matrix, increase the protein content in the product when using meat raw materials with a low protein content, improve the nutritional and biological value of the finished product, increase its yield, stabilize the technological process and increase the economic production efficiency [309].

High functional and technological properties of soy protein isolates in combination with increased biological value, multivariance of technological applications, high economy efficiency and ease of use allow to consider this type of additive to be the most promising for implementation in meat production, as evidenced by the experience of 45 countries. Therefore, rational approaches and justification for the choice of this ingredient is an important task for the food industry.

Currently, there are many studies of Ukrainian and foreign scientists in the direction of studying the main FTP and structural and mechanical properties (SMP) of soy isolates [307,308,310,311]. However, taking into account the constant updating of soy isolates' assortment at the Ukrainian market for their selection, when used in the manufacture of food products, it is advisable to study the properties of the main brands.

For this purpose, after analyzing the Ukrainian market, the following representatives were selected: soy isolate of TM "SOYPRO 900E" (Soypro) for sausage production, LLC "Raw Material Company of Ukraine", country of origin: China; soy isolate of TM "Maysol", manufacturer: Moguntsia-Interrus, Russia; soy isolate 90% Solae Supro 500E, company manufacturer: Solae, USA; soy isolate GS 5000, manufacturer: Gushen, China; soy isolate (Harbin Hi-Tech), manufacturer: Harbin Hi-Tech, Poland (TD "Industrial Chemistry in Ukraine", Ukraine).

According to the specification for soy isolates, it is recommended to use them in the production of emulsified and coarsely ground fish and meat products of various categories, dairy products, bakery, flour confectionery products, soups, sauces, yogurts, dry drinks, baby food and dietary foods; boiled sausages, frankfurters, sausages and meat loaves – of premium, first and second grades; semi-smoked, boiled-smoked and smoked sausages; chopped semi-finished products (cutlets, hamburgers, meatballs, minced meat, dumplings, etc.); crab sticks, canned meat. It is recommended to add them to the minced meat systems in dry form, in hydrated form (hydration degree 1:6), in the form of protein-fat emulsion 1:6:6/protein-fat-water and in the form of granules (isolate / water 1:3.5).

To establish and confirm the possibility of using soy isolates in food products, to determine the amount of their application and for recommendations for the choice of a rational protein preparation, a complex of FTP and SMP of soy isolates of selected brands was studied. Additionally, the effect of nanocomposite on the change of the main FTP and SMP of soy preparations was studied. In the studies nanocomposites (amorphous silicon dioxide (Aerosil) E551 brand A-300), synthesized by specialists of amorphous structures and structurally ordered oxides named after A.A. Chuiko NAS of Ukraine with a specific surface area S_{BET}=232 m^2 / g, and the corresponding average radius of the primary nanoparticles - 5.88 nm and the bulk density - $\rho_0 \approx 22$ g / cm^3 were used. Based on the literature review and previous studies of the effect of this additive on raw meat proteins, the amount of application was 0.3% by weight of the hydration system [312, 313, 314, 315].

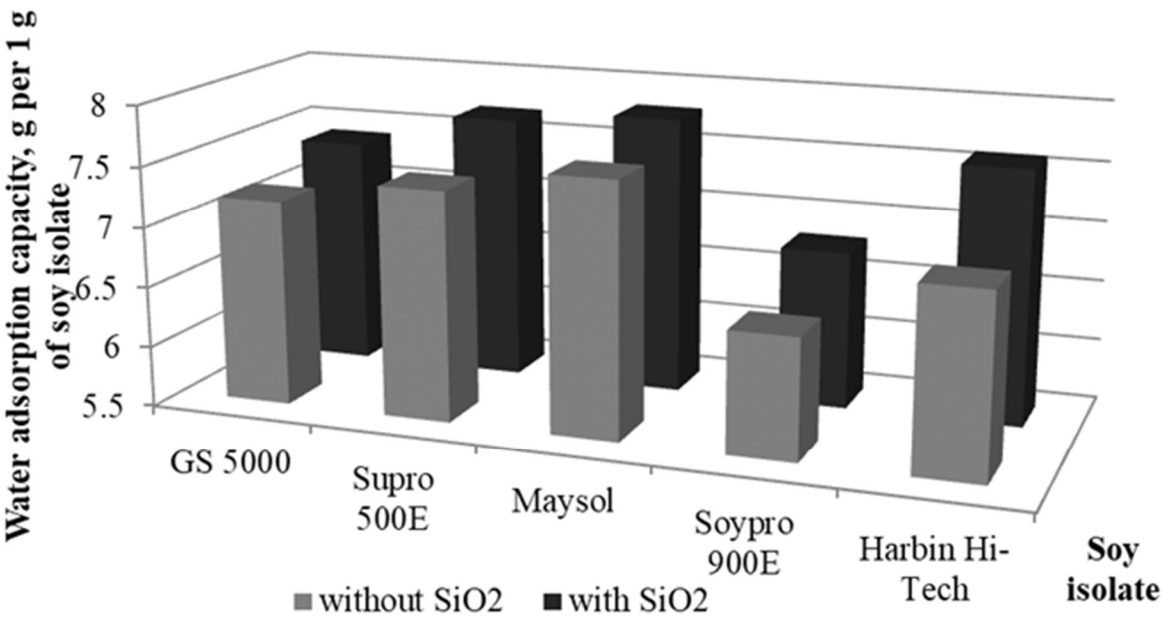
Studies of such FTP indicators as water-absorbing (WAC) and water-holding capacity (WHC) were performed for dry powdered soy isolates of different brands without pre-hydration.

Water-absorbing (WAC) and water-holding capacity (WHC) were determined by centrifugation according to the methods [316, 317] with certain modifications. Experimental samples weighing 0.5 g were dispersed in 50 ml of distilled water, placed in weighed centrifuge tubes and left for 30 min at room temperature and weighed, then centrifuged for 30 min at 3500 rpm. To determine the WHC before centrifugation, the tubes were subjected to heat treatment for 30 min (stirring constantly) to a temperature in the center of 70 ± 2 ºC. Then they were cooled to a temperature of 10 ± 2 ºC and centrifuged. The upper layer with water was removed and dried for 25 min at 50 °C to remove excess moisture. Then it was re-weighed. WAC and WHC was expressed in ml of the absorbed (retained) water / g of the dry sample which was defined by the formula:

$$WHC\ (WAC) = (W_2 - W_1) / W_0$$

where W_2 – the mass of the test tube with the sample after centrifugation; W_1 – the mass of the test tube with a dry experimental sample; W_0 – the mass of the dry sample.

The main characteristics which are one of the crucial factors when choosing ingredients for the meat industry are the ability to absorb water and retain it during heat treatment. Therefore, for the selected brands of soy isolates, the indicators of WAC and WHC were investigated, the results of which are presented in Figures 1 and 2.



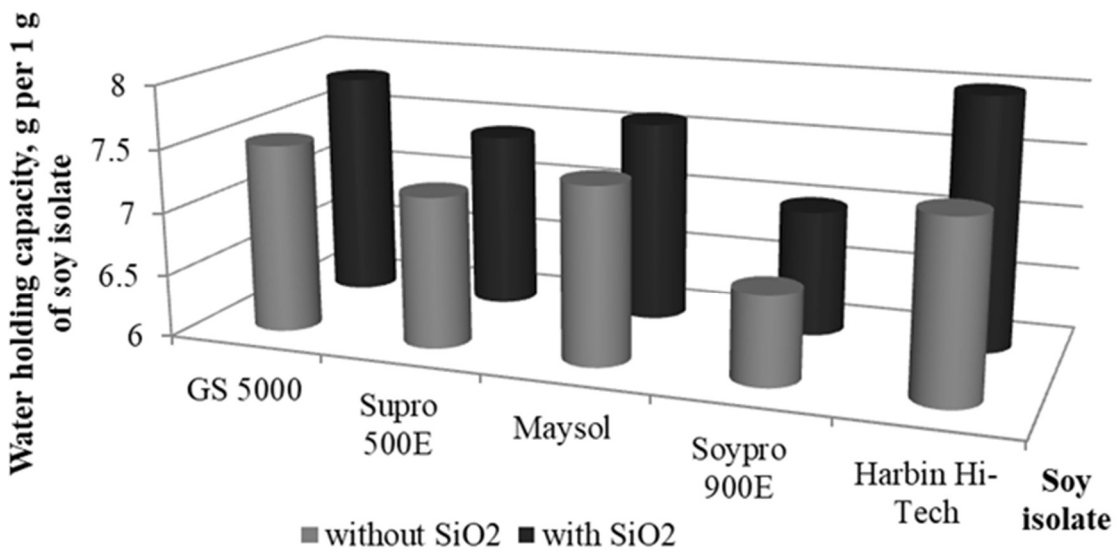
Notation: SiO_2 – pyrogenic silica in the nanocomposite form (brand "Aerosil" A300), food additive E551.

Figure 1. Water-absorbing capacity of soy isolates of selected brands

WAC characterizes mainly the ability of proteins of experimental samples to physically interact with water molecules. Analysis of the presented data (Fig. 1) allowed to establish the benefits of the ability to absorb water for soybean isolate Maysol. For soy isolates of Supro 500E, GS 5000 and Harbin Hi-Tech brands, this indicator was lower by 2-8% compared to the protein preparation Maysol. The lowest rate of WAC was for protein isolate of plant origin of SOYPRO 900E brand. The introduction of nanocomposite (silica) to soy isolates helped to improve their water absorption capacity by 3-9%. The highest manifestation of synergistic properties was observed in the interaction of Harbin Hi-Tech soy isolate with pyrogenic silica (WAC increased by 9% compared to this value for pure soy isolate).

The WHC allowed to assess the change in the properties and / or structure of proteins under the influence of temperature, which was manifested in the modification of the relationship with respect to water molecules. The WHC indicator of soy isolates (Fig. 2) allowed to establish the ability of proteins to retain absorbed water after heat treatment. For soybean isolates of GS 5000, Harbin Hi-Tech brands the highest level of water holding was noted, which was higher by 4-6% compared to the WAC of these

isolates. For other soy isolates, in comparison with these isolates, WHC was 4-11% less.



Notation: SiO_2 – pyrogenic silica in the nanocomposite form (brand "Aerosil" A300), food additive E551.

Figure 2. Water-holding capacity of soy isolates of selected brands

In experimental samples of soy isolates of Maysol and Supro 500E brands there was noted a decrease in the rate of WHC by 3% compared to the rate of WAC. This indicated a partial loss of water binding capacity due to heat treatment. The introduction of silica to experimental samples of protein preparations showed a positive effect in relation to the indicator of WHC (increase by 3-8%). The greatest effect was observed when interacting nanocomposite with soy isolate of Harbin Hi-Tech.

The established ability of soy isolates to absorb and hold water molecules was mainly due to the predominant amount of globular proteins, which showed a high ability to hydrate, provide high solubility, viscosity of experimental systems and they were characterized by high functional and technological properties (FTP): water-binding, fat-absorbing and emulsifying abilities, were able to form gels, structured matrices, stabilize emulsions, and also have high solubility, salt and heat resistance. This is one of the indicators which helps to combine their physical characteristics with raw meat materials. Due to the complex of properties, soy isolates remain one of the best protein preparations for the production of meat products.

DOI 10.46299/ISG.2021.MONO.TECH.II-408-420

6.3 Reconstruction of attractors of complex systems on the basis of time series

Annotation: Signs of chaotic behavior were found in the time series of technological indicators of the sugar refinery defecosaturation station systems. Studies confirm the hypothesis of nonlinear complex behavior of a dynamic control object, the presence in its behavior of deterministic chaos, the phenomena of intermittency and attractive behavior.

Keywords: time series, control system, sugar production, chaotic behavior.

The technological complex of a sugar refinery has complex behavior, including chaoticIn [318].

A time series is usually a sequence of events observed at some generally equal time intervals. In relation to the technology of purification of diffusion juice, this parameter can be the pH value, dry matter concentration, consumption of purified juice.

The main idea of applying the methods of chaotic dynamics to the analysis of time series is that the basic structure of a chaotic system containing all the information about the system, namely the attractor of a dynamic system (a subset of phase space that attracts trajectories in infinite time), can be restored through the measurement of only one observed characteristic of this dynamic system, fixed as a time series. According to the method of Grasberger and Procacci, the procedure of reconstruction of the phase space and restoration of the chaotic attractor of the system in the dynamic analysis of the time series is reduced to the construction of the so-called phase space.

The following software products were used for dynamic data analysis: DATAN's Dataplore program, a set of TISEAN modular programs created at the Institute of Physics and Theoretical Chemistry of the University of Frankfurt by Rainer Hegger, Holger Kantz and Thomas Schreiber, Chaos Data Analyzer (CDA), written by J. Sprott and J. Rowlands, as well as the Fractan program, developed at the Institute of Mathematical Problems of Biology of the Russian Academy of Sciences by V. Sychev. For fractal analysis, we used a specialized set of extensions of the MatLab program - FracLab, created in the French laboratory Fractals team.

The main idea of applying the methods of chaotic dynamics to the analysis of time series is as follows. It turns out [319] that the basic structure of a chaotic system, which contains all the information about the system, namely, its attractor (a subset of phase space that attracts trajectories within infinite time), can be restored by measuring only one observed parameter of this dynamic system , fixed as a time series.

Deterministic dynamical systems describe the evolution of a system over time in some phase space

$$\Gamma \subset R^d \tag{1}$$

These systems can be generated, for example, by ordinary differential equations

$$\dot{x} = F(x(t)) \tag{2}$$

or, if time is discrete $t = n\Delta t$, an expression of the form

$$x_{n+1} = f(x_n) \tag{3}$$

Time series can then be considered as a sequence of observations $\{S_n = S(x_n)\}$. Because the sequence (usually scalar) $\{S_n\}$ does not in itself generate a multidimensional phase space of a dynamic system, it is necessary to use some technique to reveal the multidimensional structure using only the available data.

According to the method of Grasberger and Procacci [319], the procedure of reconstruction of phase space and restoration of chaotic attractor of the system in dynamic time series analysis is reduced to construction of so-called lag or restored space using the method of delays. Vectors in the new space, attachment space, formed from the values of the time series of scalar measurements with time delay:

$$\overline{S}_n = (S_{n-(m-1)r},\ S_{n-(m-2)r},\ \ldots, S_n) \tag{4}$$

The number of elements *m* is called the dimension of the attachment, the time τ is usually called the delay or lag. The theorems of Tuckens [320] and Sawyer [321] show that if the sequence $\{S_n\}$ actually consists of scalar measurements of the structure of a dynamical system, then, under certain assumptions, such a reconstruction of the phase portrait is an exact picture of the real set {x}, if, *m* quite large. Or, in other words, the real attractor of a dynamic system and the "attractor" restored in the lag space in time series according to the above rule (pseudo-attractor), with adequate selection of the dimension of the embedding *m*, are topologically equivalent.

To calculate the characteristics of the pseudoattractor, such as its fractal dimension, Lyapunov exponents, it is necessary to have a set of points defined in the phase space of dimension m and belonging to the attractor. The number of points *M in* the calculations is finite, but should be large enough. According to the formula proposed in [322]

$$M \geq M_{\min} = 10^{2+0,4D} \tag{5}$$

where *D* is the dimension of the attractor. Based on this, we chose a number of data that would fully correspond to the small dynamics of motion, with a dimension *m* from 4 to 8. According to these considerations, it was decided to choose the length of time series ≈ 16000 measurements.

The traditional way to select the time delay is to calculate the autocorrelation function of the time series:

$$A(\tau) = \frac{1}{m}\sum_{k=0}^{m-1}(S_k - \overline{S})(S_{k+\tau} - \overline{S}); m = M - \tau \tag{6}$$

The delay τ is chosen equal to the time of the first intersection of zero of the autocorrelation function. Another method requires the calculation of the power spectrum of the time series, ie the Fourier transform rate of the autocorrelation function. If there are multiple peaks in the power spectrum, then the delay τ is chosen equal to a quarter of the period of the highest of the dominant frequencies. The third

method is based on calculating the function of delayed mutual information. The mutual information function S is determined by the formula:

$$S = -\sum_{ij} p_{ij}(\tau) in \frac{p_{ij}(\tau)}{p_i p_j} \tag{7}$$

where for some data breakdown p_i is the probability of finding the value of the time series in the i-th interval of the breakdown, and $P_{ij}(\tau)$ is the total probability that the observed value will fall into the i-th interval, and the time of this observation will fall into the j-th interval .

The idea of software implementation of the method is as follows. First, the phase space is restored using the method of Grasberger and Procacci. The vectors in this space are determined according to formula (3). For each point S_i of the time series, its nearest neighbor S_j in m-dimensional space is sought. The distance between them is calculated:

$$\| \overline{S_i} - \overline{S_j} \| \tag{8}$$

Next, we integrate both points and calculate:

$$R_i = \frac{| \overline{S}_{i+1} - \overline{S}_{j+1} |}{\| \overline{S}_i - \overline{S}_j \|} \tag{9}$$

If R_i exceeds this heuristic threshold R_t, then the point is considered to have an erroneous nearest neighbor.

One of the tests used in practice to verify the presence of a chaotic component in the studied series of financial data is to study the properties of the correlation sum $C_m(r)$ and the behavior of the correlation dimension $D_m(r)$ depending on the dimension of the investment m. The correlation sum $C_m(r)$ is the probability that the pairs of points on the reconstructed attractor in the m-dimensional lag space are within the distance r from each other. If the graph of the function $lnC_m(r)$ with respect to lnr has

a clearly defined linear section, this indicates the existence of a self-similar geometry of the attractor, which, in turn, indicates the chaotic nature of the process.

In the case of stylized data, when we know the dimension n of the phase space of the dynamical system and all n coordinates of each point on the attractor, the correlation dimension D_2 of the attractor is found as follows: we consider the correlation integral $C(r)$ showing the relative number of pairs of attractor points at a distance not greater than r:

$$C(r) = \frac{2}{m(m-1)} \sum_{i=0}^{m-2} \sum_{j-i+1}^{m-1} \theta(r - p(x_i, x_j)) \tag{10}$$

where θ is the Heaviside function, p is the distance in the n-dimensional phase space, m is the number of points x_i on the attractor. On rather small scales of lengths and when the dimension of embedding m is not less than the topological dimension of the attractor, the dependence is fulfilled:

$$C(r) \to r^{D_2} \tag{11}$$

where D_2 is the desired correlation dimension of the attractor. Prologarithmizing equation (11):

$$\ln C(r) \to D_2 \ln r \tag{12}$$

Expression (12) gives the desired estimate of the dimension of the attractor as a tangent of the angle of inclination of the line, which approximates the graph of the correlation integral $C(r)$ on a double logarithmic scale.

The Hearst index is calculated using the Rescaled Range *(R/S)* Analysis method. The main purpose of calculating the Hearst index is to determine the long-term correlation in the time series, and to identify its fractal structure. In addition, we note that with the help of *R/S*-analysis it is possible to detect existing statistical cycles in the dynamics of the system [319].

In accordance with the value of the Hirst index H, all time series can be classified into three types [323]:

- antipersistent time series ($0 < H < 0.5$);
- random time series ($H = 0.5$);
- persistent time series ($0.5 < H < 1$).

Studies of the values of the Hirst index were conducted in a software environment - Fractan.

It was noted above that determining the correlation dimension of the time series is one of the main tests used in practice to determine the presence of a chaotic component. Estimation of the correlation dimension should be performed for data logarithms [321]. Of all the software products used in the research, only two programs perform the correlation dimension assessment procedure: CDA and Fractan.

Based on the results obtained, we can conclude that the nature of the processes that take place at the defecosaturation station is mainly persistent ($0.5 < H < 1$).

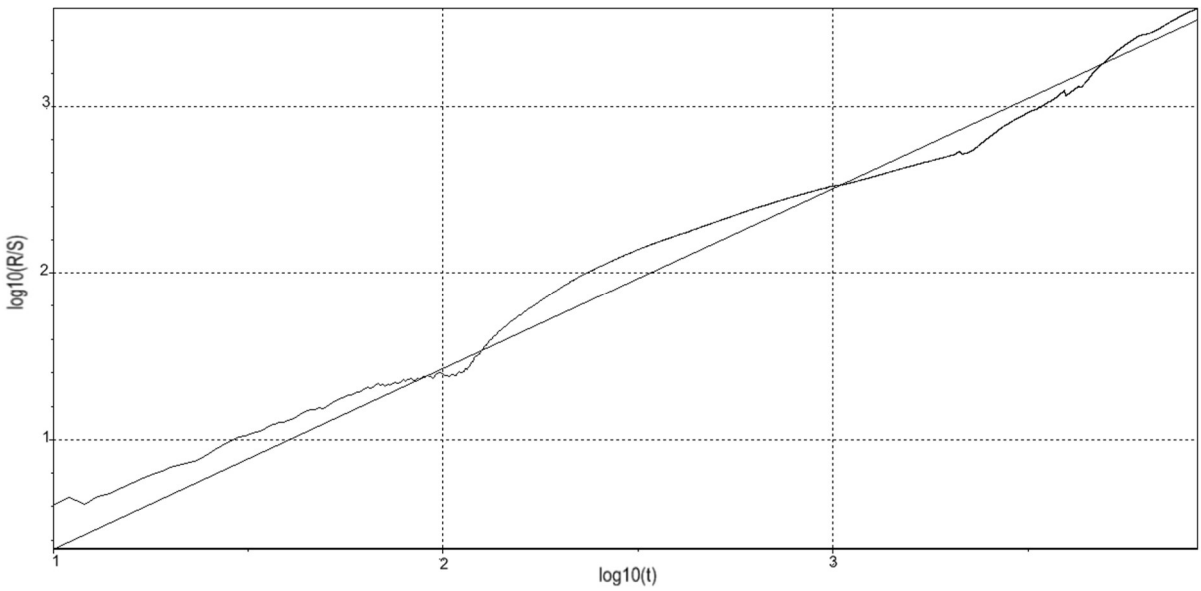


Fig. 1. *R/S* - analysis of the studied pH data.

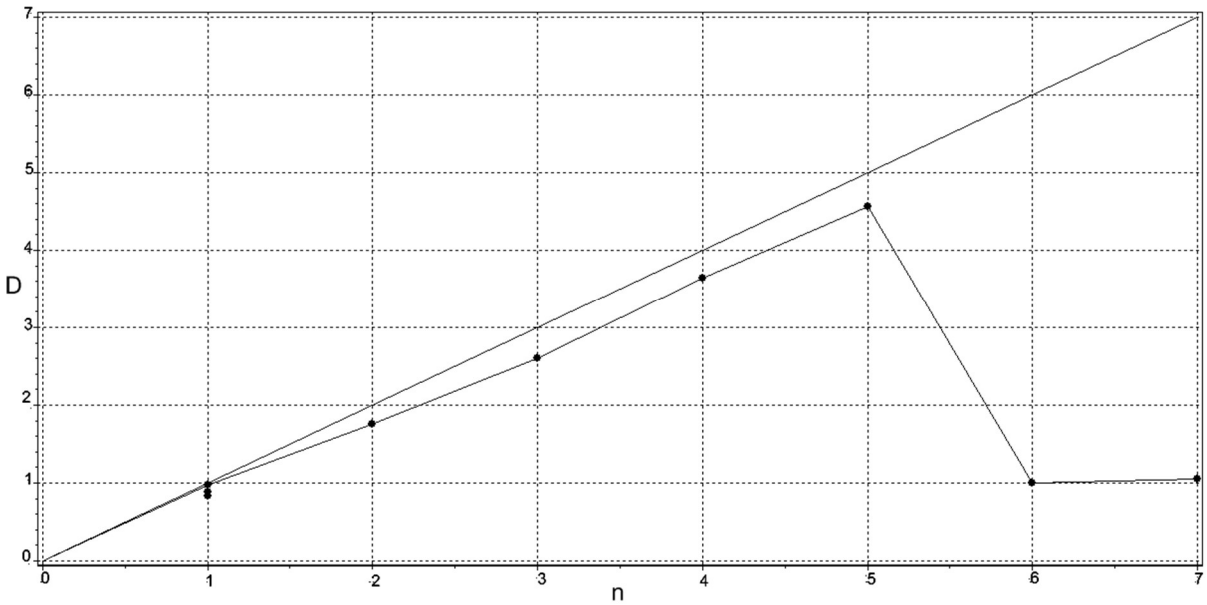


Fig. 2. Dependence of correlation dimension on dimension attachments for a number of pH values.

The results of the study *R/S* - data analysis are given in table 1.

Table 1. Hirst index, for pH

Working hours	Hirst index, N	Fractal dimension, *D*
1	2	3
1	1.0775	0.9225
2	0.7435	1.2565
3	0.6403	1.3597
4	1.0639	0.9361
5	0.6802	1.3198
6	0.6397	1.3603
7	0.610	1.3990
8	1.0647	0.9353
9	0.8445	1.1555
10	1.1641	0.8359

The results of the study of the data of the correlation dimension and the dimension of the phase space are given in table 2.

Table 2. Dependence of the correlation dimension on the dimension of the attachment

DS work time	Correlation dimension, D_2	The dimension of the phase space, n
1	2	3
1	4,563	5
2	5,468	7
3	3,233	6
4	2,334	4
5	2,474	7
6	2,205	4
7	2,902	7
8	0.185	1
9	1,437	3
10	5,712	7

As an example, below are the time series of changes in the flow of juice from defecosaturation (Fig. 3), the pH of the second saturation (Fig. 4) and the pressure of the saturation gas (Fig. 5).

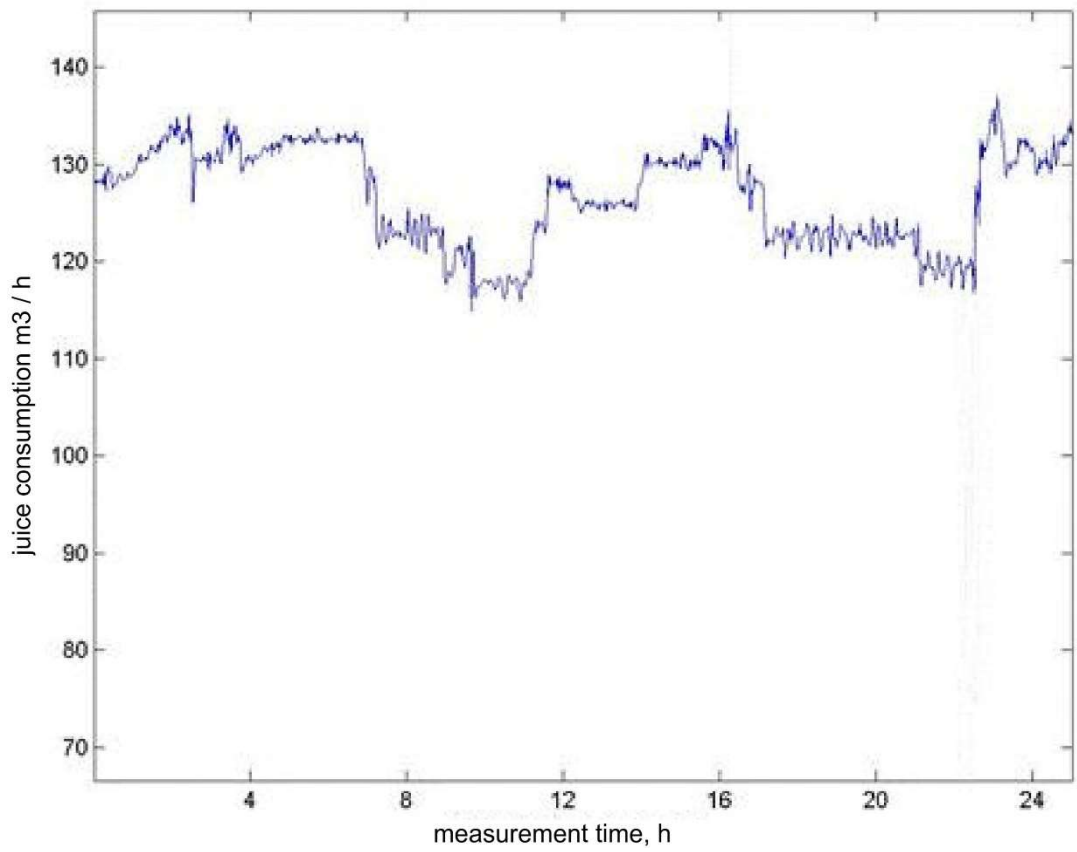


Fig. 3. Time series of juice consumption from defecosaturation.

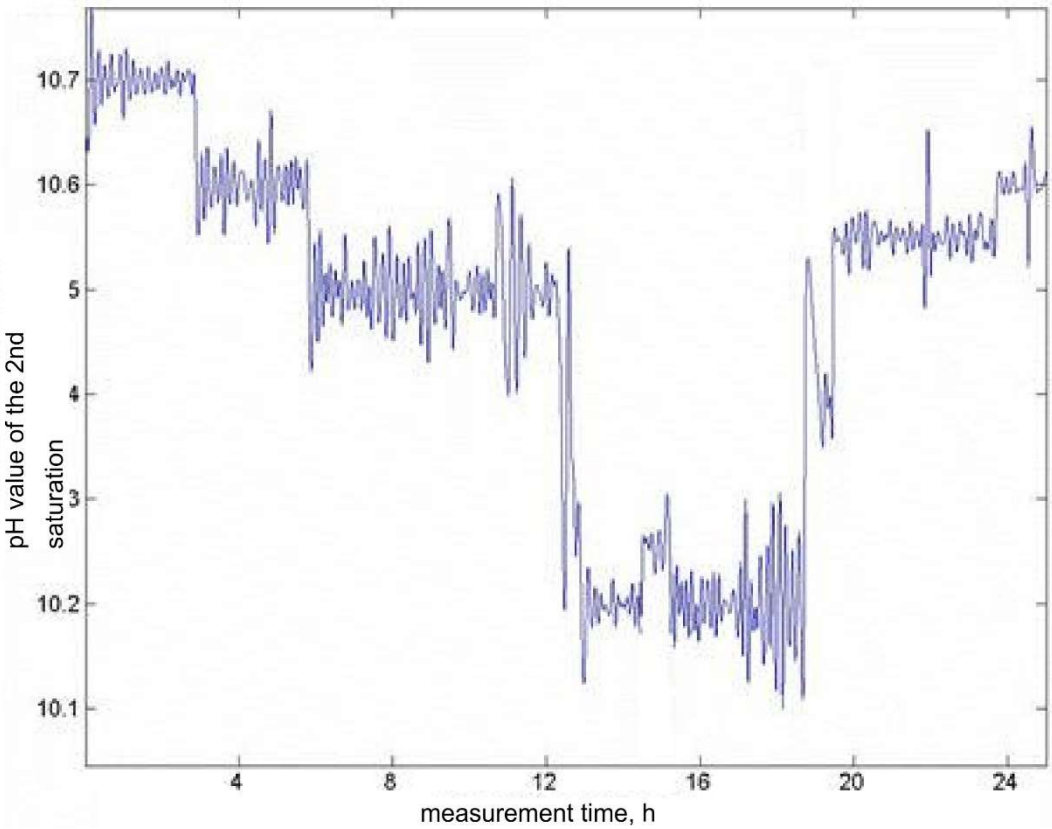


Fig. 4. Time series of pH value of the second saturation.

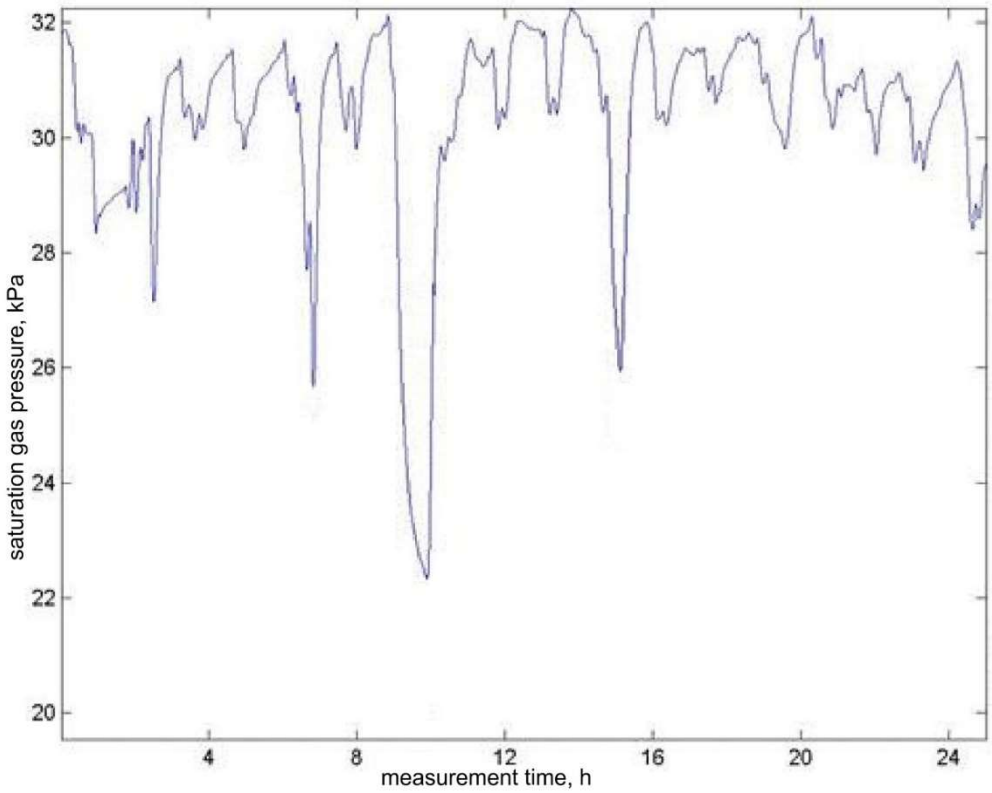


Fig. 5. Time series of CO2 saturation gas pressure.

Today, for the study of dynamical systems, it is important to calculate the indicators of the attractor of some dynamical system, the mathematical models of which are unknown, but, as a rule, the dimension of the phase space is also unknown. In this situation, we have information about the behavior over time of individual variables that characterize the object of control.

To calculate such parameters as dimension, entropy, spectrum of Lyapunov, Hirst and other characteristics of attractors, it is necessary to have a set of points defined in the phase space of dimension n and, which belong to the attractor [320].

Let any process variable be determined by dynamic discrete equations in the state space:

$$x(t+1)=F(x(t)),$$
$$y=Q(x(t)), \tag{13}$$

where $x(t)$ is an n-dimensional vector of system states; $y(t)$ - measured (initial) process; t - discrete time, F, Q - nonlinear operators.

If we linearize equation (13) within the trajectory of motion, we obtain the relation:

$$x(t+1)=Ax(t),$$
$$y(t)=Cx(t). \tag{14}$$

Here C is the dimension matrix ($1 \times n$); $A=\frac{d}{dx}F(x,t)$ - Jacobi dimension matrix ($n \times n$), which determines the stability properties of the trajectory.

It is necessary to build a phase trajectory of the system, to determine the nature of stability or instability.

The states to which the system aspires when changing external parameters are called points of attraction. The minimum set of points to which almost all trajectories

aspire is called the attractor. Packard's method can be used to construct the attractor of the system according to experimental data [324].

According to Takens's theorem [320], there is a vector function Λ that reflects the space of states of the system in the Euclidean space of dimension m:

$$z_i=\Lambda(x_i),\ z_i \in R^m, \tag{15}$$

The characteristics of both systems are invariant, which allows us to determine them from experimental data without knowing all the variables of a dynamic system. The dimension m can be determined, for example, by the methods of symmetry theory [325].

To find the vectors z_i of the space R_m in the time series, Packard proposed to use vectors derived from elements of the series on the same principles as in the autoregression equations:

$$z_i = \{x_i, x_{i+1}, \ldots, x_{i+m-1}\}^T,$$

or

$$z_i = \{x(t), x(t+\tau), \ldots, x(t+(m-1)\tau)\}^T,$$

where x_i is the i-th element of the time series, m is the dimension of the embedding space.

The resulting trajectory should not contain self-intersections, however, self-intersections in the array of discrete points z usually do not occur, so look for so-called "close neighbors" - pairs of vectors that were close in the reconstruction, but their prototypes were far away . In other words, let $z_i(m)$ and $z_j(m)$ be two close neighbors in the reconstruction of dimension m, and let $z_i(m+1)$ and $z_j(m+1)$ correspond to them in reconstruction of dimension $m+1$.

To determine the optimal value of the delay time τa method [326] based on information theory is used, which uses the first minimum of mutual information for x_i and x_{i+1}. Histograms approximating the distributions x_i and x_{i+1} and compatible

distributions x_i and x_{i+1} are constructed in time series. Entropy and mutual information are calculated on the basis of histograms:

$$S = -\sum p_{ij}(\tau)\log_2 \frac{p_{ij}(\tau)}{p_i p_j}, \tag{16}$$

where p_i is the probability of finding a point in the i-th interval; $p_{ij}(\tau)$ — total probability hits x_i in the i- th interval and hits x_{i+1} в j- th interval.

To build an attractor, it is necessary to filter. The following method is used [327]. For each vector z_i of the obtained reconstruction, the nearest neighbors are calculated such that $\| z_i - z_j \| < \underline{\varepsilon}$. The value of ε is set based on a priori estimates of the amount of noise or by sequential approximation. For each vector $z_i = \{x_i, x_{i+1}, \ldots, x_{i+m-1}\}^T$ the adjusted value of $z \cdot$ is calculated by averaging over all z' nearest neighbors:

$$z^{\bullet} = \frac{1}{N}\sum_{k-1}^{N} z_k^{'} . \tag{17}$$

After full passage on all points of the reconstructed trajectory all points, except the first and last *(m-1) / 2*, points will be corrected.

The study of the main characteristics of time series is carried out in the software environment Fractan. The results of experimental studies for the defecosaturation system are presented below.

Based on the study of the time series of the pH value of the second saturation, the Hirst index is $H = 0.7446$, with the fractal dimension $D = 2\text{-H} = 1.2554$. The optimal delay $\tau = 26$. The maximum dimension of the phase space is 3.

Also, the Hearst index is calculated for the time series of saturation gas pressure, which is $H = 0.7148$, with the fractal dimension $D = 2\text{-H} = 1.2852$. The optimal delay $\tau = 128$. The maximum dimension of the phase space is 4. And for juice consumption - H = 0.9846, D = 2-H = 0.1621, $\tau = 67$, the dimension of the phase space is 5.

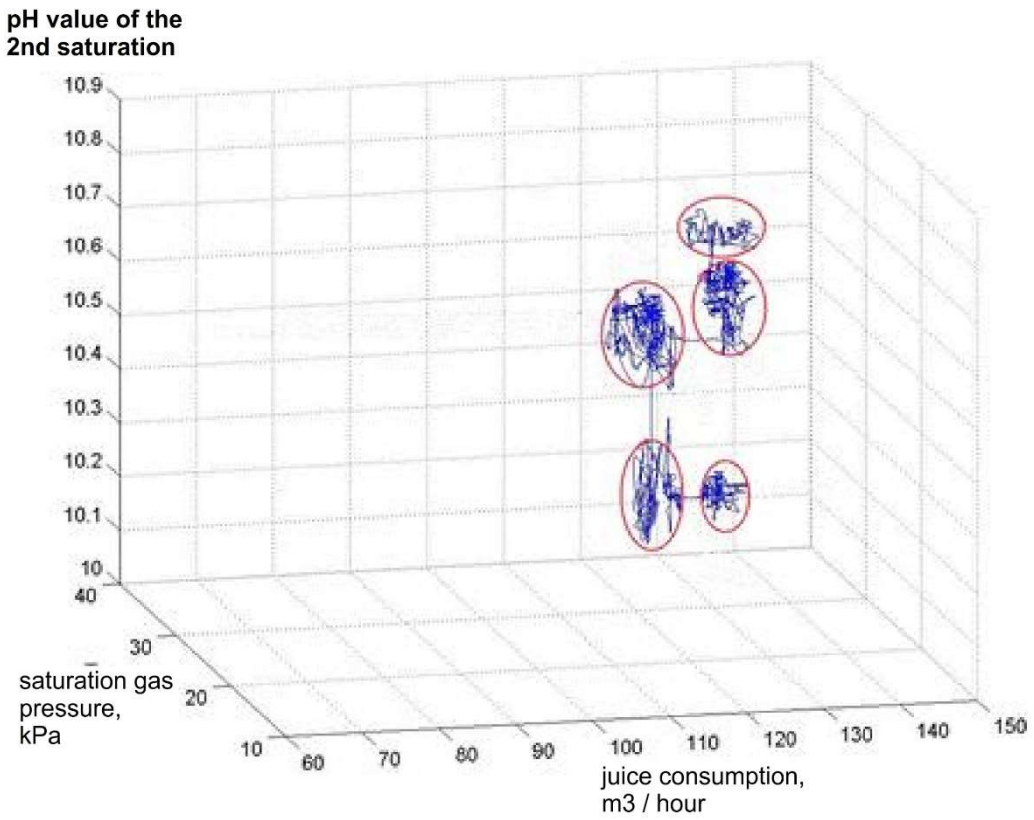


Fig.6. Reconstructed phase portrait with areas of attraction.

Estimating the Hirst index, we can say with all probability that these time series, and accordingly the control object on which they are obtained, is a complex nonlinear time system. Reconstruction of the attractor is carried out in the software environment MATLAB®.

In the reconstructed phase space (Fig. 6) the traction regions, the attractors of the dynamic system, which are shifted to the planes of pH and saturation gas pressure, are clearly visible.

Conclusions and results

The attractive behavior of the control object, juicing department, from the standpoint of deterministic chaos is investigated.

Studies confirm the hypothesis of nonlinear complex behavior of a dynamic control object, the presence in its behavior of deterministic chaos, the phenomena of intermittency and attractive behavior.

The tasks of deeper research of the object of control and search of ways and possibilities of forecasting with the set depth of the forecast of behavior are set.

DOI 10.46299/ISG.2021.MONO.TECH.II-421-429

6.4 Development the technological monitoring subsystem of the distillation-rectification facility management system

ANNOTATION

The purpose is to improve the efficiency of alcohol production by creating an automated system process monitoring distillation department, and based on online analytical processing to realize efficient resource-management strategy using intelligent mechanisms.

Keywords: monitoring, distillation-rectification facility, data mining, wavelet analysis, scenario approach, neural networks, uncertainty.

Technological systems of food production, including distillation area of ethanol production plant are complex facilities management. Characteristic features of complex control systems are: high degree of uncertainty in many shapes, a significant level of noise, multicriteriality, non-linear behavior. Decision making in the management of these conditions is extremely difficult, and in some cases carried out reflexively based on experience and intuition attendants. Due to the large inertia of facilities management effectiveness of control actions taken on the object management may be insufficient. Computerized control systems in the current environment focused mainly on linear, deterministic or stochastic with known statistical regularities of control, it does not take into account the inherent technological systems for food production features of complex behavior.

Therefore, to improve the efficiency of the management of complex technological systems of food production is necessary to conduct an operational analysis of the information received in the operation of control systems. These functions are allocated to the subsystem process monitoring, conducting rapid processing of input-output data, provides prediction of the control object. By doing so, create the necessary conditions for improving the process of decision making by management. Thus, development of algorithms, models and technology monitoring subsystem using modern methods of analysis information is relevant scientific and technical problem.

The systems approach to the development of alcohol production, along with the improvement of technology and equipment requires the use of automation of production. Modern structured management system must implement automation strategy that provides complete operation and management of distilleries. Making the transition to structured automation systems - an effective way of intensifying production. Currently, the majority of factories operate complex hierarchical automation system ethanol production based on the structures of 3 levels creating an automated process control system.

For the analysis of quantitative and qualitative characteristics of object behavior and training necessary to organize data management strategies and decision management solutions for SCADA must have a membership subsystem process monitoring.

Today, most businesses are trying to revise and restructure their industrial processes. You must get their qualitative assessment, it will help to detect abnormalities in the equipment and choose the right methods to address them. If they are removed, it is necessary to ensure that the process runs as good.

To assess the quality of the production process requires a special enterprise system - the so called system of monitoring processes that can effectively work using appropriate initial values .

The conceptual plan of the monitoring system is considered as a hierarchy of services, which act as consumers of end users and higher-level services.

The issue of monitoring engaged scholars such as S. Kuznetsov [328], B.G. Lewinsky, A.B. Sladkova, T.J. Ashyhmina, B.A. Ballod, M.O. Podustov, V.I. Toshynskyy, S. Grossman, O. Hart, A. Williamson, D. Hay, M. Ohtilyev , R.M. Yusupov, B.V. Sokolov [329], A.V. Kovardakov [330], A.P. Ryzhov [331].

The main functions of technological monitoring subsystem and it`s structure (fig.1) were developed based on the analysis of technological monitoring problems. This subsystem provides a comprehensive treatment of the input - output information, identifying patterns, analysis of work situations and technological forecasting.

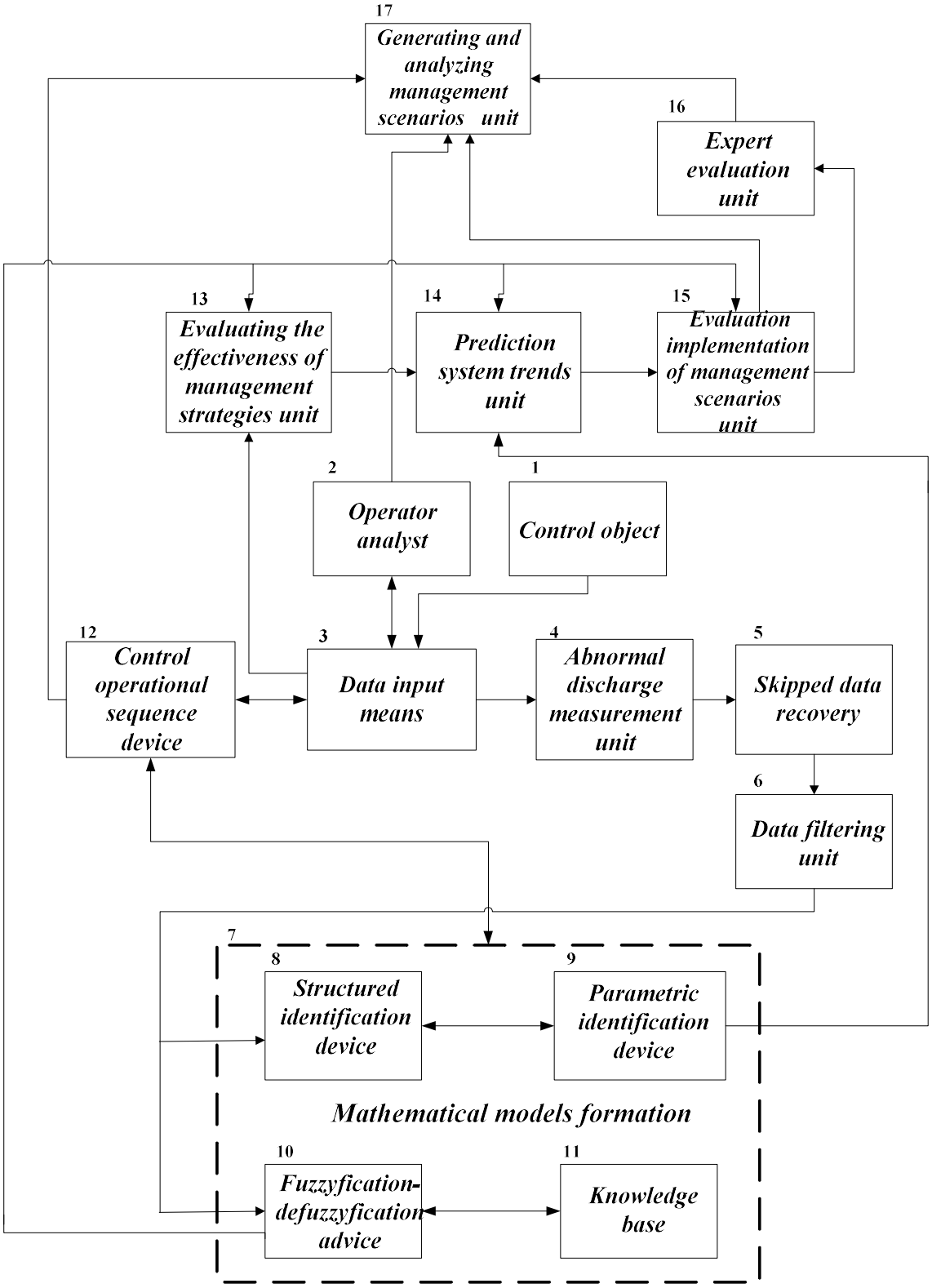


Fig.1. Block diagram of the technological monitoring subsystem

The technical result of the application of this structure is achieved particularly through the block abnormal discharge measurements, which include emissions erroneous measurements due to faulty instrumentation ; recovery unit passes data such as laboratory measurements at regular intervals ; block filtering to improve the signal / noise ratio . The system presents the information in qualitative linguistic values , which makes it possible to develop intelligent logical- linguistic model that is the basis of knowledge bases.

For efficient process control as part of computer- integrated systems proposed structure allows devices using structural and parametric identification of diverse mathematical models developed for the purposes of prediction and control.

To evaluate the decisions made by management and their implementation on-site management unit is used for evaluating the effectiveness of strategies control that allows together with the block forecasting system to estimate trends in results of operation of process control and establish preventive measures to correct deviations in the generated script control , defined in the block assessment and implementation scenarios.

Figure 1 shows a block diagram of information- analytical system. Under this scheme information system process monitoring complex organizational and technical system includes control object 1, data input means 3 having feedback from the workplace 2 operators analyst and connected in series to the 4 abnormal discharge measurement unit 5 skipped data recovery , data filtering unit 6 , which is connected to the block 7 the formation of mathematical models, which in turn contains a structural identification device 8 and 9 parameter identification device, fuzzification - defuzzification device 10 having feedback knowledge base of 11; block 7 of forming mathematical models on the one hand connected to the control operational sequence device 12, and on the other - with the unit 13 for evaluating the effectiveness of management strategies , prediction system trends unit 14, and block 15 reviews implementation of management scenarios from which the information is sent to the block 16 expert evaluation, and the block 17 for generating and analyzing scenarios of management.

This structure of the system works as follows: inputs from the control object 1 are introduced as a means of data input through 3, and from the workplace 2 operator analyst.

Unit 4 is carried out allocation and elimination of abnormal measurements in the input data, and restores the unit 5 spaces available. In block 6 is carried filtering data supplied to unit 7 of forming mathematical models. In this block using devices 8 and 9 structural and parametric identification, respectively, and the device 10 defuzzification phasing - developed mathematical and logical- linguistic intelligence model, which is the basis of knowledge bases 11. Upon this information goes to block 13 for evaluating the effectiveness of management strategies , unit 14 predict system trends, and block 15 reviews implementation management scenarios to assess the performance of the generated script control. Simultaneously, the information is exchanged with the block 7 the formation of mathematical models and control device 12, the sequence of operations that sends data to the block 17 for generating and analyzing scenarios of control. In addition, in the same block of data is transferred from block 16 expert assessments required for the formation of alternative scenarios.

The structure of monitoring subsystem of the complex technological systems.

Efficiency of complex production facilities can be greatly enhanced through the use of scripts governance, which is a system of models that reflect the processes of change over time and the conditions of phase coordinates of the object, discrete fixing the fundamental terms of managing transitions to a new qualitative state.

Given multipurpose management technological complex scenarios, provides a variety of situations in facilities management, depending on the priority objectives such as conflict and so on. The basis of the scenario is situationally significant events and relationships between them are determined taking into account the detailed description and transition management processes, such atracctor`s behavior. Decision management scenarios for decision on the basis of dynamic analysis of situations, which is held subsystem process monitoring management system. Monitoring technology allows on the basis of current information on the state of the control object, and the task of the operator to analyze the quantitative and qualitative characteristics of the behavior of the object and prepare the necessary data for the organization of management strategies; decisions on management [332].

In order to see the changes in the objects, there is a need for special studies changes of processes influenced by various factors, including human activities.

System repeated studies and one more element in the control object in space and time with a specific purpose and according to the program prepared by were asked to name - monitoring.

It should be noted that the system for monitoring changes in facilities management is not some kind of a new system that requires networking new monitoring stations, power lines and telecommunications, data centers and etc. It is a component of the system of complex technological systems.

Thus, the process of monitoring system to ensure functioning of the management of complex technological systems can identify changes brought about as a result of the operation of the process that require detailed information about the different variations and changes in the environment. Monitoring involves obtaining (or presence) of such information.

Monitoring includes the following main activities:

1. Observations on the factors that affect the environment and the state of the process.

2. Assessment of the actual state of the process.

3. Prognosis of the state of the process and evaluation of the condition.

So technology is a multi-monitor information system. Its main task - to monitor the state of the object, evaluation and prognosis of his condition; determine the intensity of various actions, identifying factors and sources of influence.

Blocks "observation" and "condition prognosis" closely related, as the weather condition of the object is only possible in the presence of representative information on the actual status (direct link). The prognosis on the one hand, implies knowledge of the laws of change of the natural environment, the availability of the scheme and opportunities numerical calculation, the second - direction prediction should largely determine the structure and composition of the observed (feedback).

Information - measuring systems as an information system for monitoring processes, is a component of the control of human interaction with the environment,

because information about the current state and trends of the process of change should be the basis for developing measures for decision-making and taken into account when planning of the object. Results of the assessment of existing and projected state of the object, in turn, make it possible to determine the requirements for the subsystem observations (this is what is scientific justification for the monitoring study of the composition and structure of the network and methods of observation).

The data describing the state of the process obtained by observation or prediction should be evaluated depending on the industry in which they are applied (using specially selected criteria). Evaluation aims on the one hand - definition of damage from the impact of various factors on the other - the choice of optimal conditions for and clarify existing provisions. The purpose of these assessments is to determine the allowable loads for the manufacturing process.

It is also an opportunity to consider the impact of external factors on the sensor readings, leading to a distorted representation of the state of the object.

The use of STM network of diverse sensors makes creating a complex system of data collection, processing and analysis of data should:

- To welcome and formatting sensor signals;

- Generate a vector of characteristics of an object using vector sensors. In order to eliminate redundancy vector performance is optimized;

- To keep the history of the object (data collected for the entire period of observation the object) as "images" (frames) of the current state for several seasons working ethanol plant using a compact data representation techniques, while maintaining the possibility of retrospective analysis.

- "Learn" to recognize the features of normal behavior (change state) of the object and abnormal changes. The process of "learning" should include the natural life cycle of the object associated with changes in external factors (temperature, humidity, etc.) And modes of operation. Study and analysis of changes - two parallel interconnected processes. Initially, the operation of the inevitable false alarms;

- Analyze changes to the localization of abnormalities and assess their significance.

For the classification is necessary to create and maintain knowledge base, taking into account operating experience of similar objects, the results of simulation, expert opinion, and others.

Given the feasibility of the lower stations of ACS DRF, task is to build a top level - of intellectual analysis, monitoring and control .From lower-level process control system, namely of SCADA - system information , by OPC - collectors coming to the top level - the level of a single archive Historian, where the current backup of the database. These laboratory tests come in. zipping through laboratory workstations brokered File collectors.

The only interface that allows for the information to third-party programs on the environment - Archive Historian, is its integrated subsystem Excel Add in, this interface allows you to play at the level of information tables Excel, and then through Excel to transfer to the upper level - smart automated management DRF.

Subsystem process monitoring is realized by integration environment MVTM and developed software in C # environment. In turn, transmits the processed data to the level of production analysis MES level - the level control of production. Processed information through programmatic interfaces of Excel Add in arriving at the level of SCADA - system (figure 2).

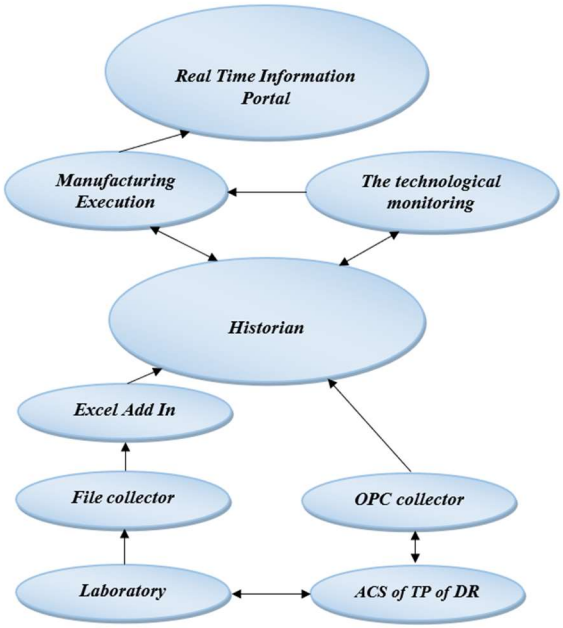


Fig.2. The integration of monitoring subsystem in the information vertical of alcohol production.

Conclusions and results

A new approach to improve automated control system of DRF by including in its composition process monitoring subsystem, which based on the developed models and algorithms favor making management decisions in order to maintain high-quality indicators of functioning of the plant was proposed.

1. Based on system analysis technological complex of rectification area of ethanol production plant revealed features of uncertainties that occur during the operation of the facility management and operational tasks defined process for monitoring the implementation of effective management strategies.

2. Methods for reducing uncertainties in the input information coming from the microprocessor control systems and plant laboratory by removing anomalous measurements, gaps in data recovery, filtering information based on wavelet and fractal analysis, which led to an increase in the reliability and accuracy of the technical data and created favorable conditions for the adoption of quality management solutions.

3. Algorithms detection system variable in an object management, identify the type of object behavior by analyzing time series of process variables, analysis and classification of situations with self-organizing maps of Kohonen. It is possible to increase the efficiency of decision-making on management and form-situational important area for control scenario distillation area of ethanol production plant.

4. Conducted linguistic approximation for rectification process major variables based on expert and experimental data allowed to describe the set of variables in terms of linguistic assessments for scenario construction management.

5. Developed scenario management of DRF based on a comprehensive analysis of expert and experimental information with regard attractor and situational behavior of the control object that allowed an effective management strategy.

6. Functional structure and user interface intelligent system management scenario of distillation process monitoring subsystem, which is based on in-depth data mining algorithms and implementation scenario management makes recommendations to the operator to improve the indicators of alcohol.

DOI 10.46299/ISG.2021.MONO.TECH.II-430-438

6.5 Theoretical and practical foundations of beverage production with a high content of biologically active substances

Starting in 2020, the retail market has seen a sharp increase in sales of dry beverages: powdered beverages based on coffee, cocoa, fortified instant beverages, beverage concentrates containing biologically active substances (coenzymes, amino acids, collagen, hyaluronic acid, MSM , glucosamine, plant extracts, etc.). The industry of soft drinks based on drinking and mineral waters, so-called "active waters", "detox waters", "waters with enhancers of action" is also actively developing in the world today. Amplifiers of beneficial effects are complexes of plant extracts, essential oils, vitamins and vitamin-like compounds, biologically active substances. However, the technological processes of production of such "waters" need to be improved, first of all, the development of technologies and principles for creating blends of extracts and their mixes with biologically active substances; establishing the quality of such compositions, methods of storage and packaging in diluted or dry form for dilution in a liquid base for immediate consumption.

Today, there is a steady trend of development, at least until 2027, in the production of dry beverages containing useful ingredients, including food hydrocolloids of protein and polysaccharide nature. Examples of such products are dry drinks in sticks or dry protein shakes ("Whey Gold Standard" TM Optimum Nutrition, "Matrix" TM Syntrax, "Keto Slim" TM Natures Plus, "Formula 1" TM Herbalife) in jars with a measuring spoon for sports nutrition, and in recent years for nutricosmetics ("Compexe Circulation Active" TM D-Lab, Inneov TM L'Oreal, "Collagen Update" TM Shiseido, "Tres Beauty" TM ReserveAge Nutrition). The prototypes of such products were sticker or tablet forms of water-soluble compositions with a therapeutic effect from pharmaceutical companies (D-Lab, Green Pharm Cosmetic, Pharma Bio Laboratory, Healthy Pharm).

The use of dry blends of plant extracts, mixed with biologically active substances with the addition of hydrocoids, can solve a number of economic and environmental issues, as the production of concentrates or extracts is possible at the collection of raw

materials and low-quality raw materials or sent to feed animals, in connection with which a large number of nutrients can not get into the human body.

The dynamics of mass market consumer demand for dry drinks is based on several reasons. First, blends of plant extracts, mixed with biologically active substances have a "clean label", ie sugar-free composition in whole or in part, do not contain preservatives. Second, are convenient commodity items for consumption at home, at work or when traveling. That is, they can provide a constant supply of nutrients. Third, they are convenient for long-term storage.

According to the report of Food Business News [333] for the period from I to II quarter of 2020, sales of dry water-soluble concentrates increased by almost 20%, which is 12% more than the sale of "enhanced" water. Such a trajectory is expected to increase for several more years due to COVID-19 restrictions, and the economy needs to prepare for a recession.

In this regard, the issue of production of such blends and mixes has become very important, which will not only ensure a constant supply of nutrients to the human body, but also allow the replacement of snacks or even meals, almost at any time, without the need for special conditions of processing and consumption of useful and tasty products. Since the final product intended for consumption is a liquid or semi-liquid system, this will increase the amount of water in the human body.

It should be noted that under the conditions of quarantine restrictions (which reduce the number of places to work or study), the growing dynamics of getting used to the service "take out" (but with restrictions on its use for low- and middle-income people, ie for most Ukrainians), it became possible to introduce a new concept of healthy eating "pocket ration" or "pocket diet" and the production of dry drinks with a balanced content of nutrients, programmed to regulate metabolic processes and prevent various diseases.

The aim of the research was to develop the technology of dry beverages with regulatory properties of organs and systems of the human body due to the content of blends of plant extracts combined with biologically active substances in the matrix of hydrocolloids.

The goal was achieved by performing the following tasks:

1) developed stages of modeling food compositions with different effects on the human body;

2) increased bioavailability of all active ingredients due to the correct combination of BAS and ensuring their consumption in the amount of not less than 50% of the recommended daily allowances;

3) taste-regulating bases for dry drinks have been developed due to gastronomic ratios of sour, sweet flavors and "kokumi" taste;

4) the principles of combination and addition of flavoring substances with full realization of ortho- and retronasal ways of taste perception are realized.

Technological aspects and analysis of the range of enrichments for the production of beverages based on hydrocolloids in modern conditions were focused on finding ingredients that would be multifunctional, namely: had a high positive physiological effect, good technological properties (solubility, pleasant organoleptic characteristics, stability during heat treatment, a small percentage of dry matter that has the ability to sediment, pH inertness, resistance to light, etc.

The demand for healthy or functional drinks is growing every year in many countries around the world. The term "functional food" migrated from Japan to Europe and the United States. It is understood as food products containing special ingredients or their mixes, which have, along with the main food effect, a beneficial physiological effect on one or more functions of the human body, reduce the risk of disease. It should be noted that as well as solid foods, drinks are also trying to be such that they are effective in lowering cholesterol, contain amino acids in a balanced composition by combining hydrolysates of cereals, legumes and more. But the latest trend is the development of beverages containing substances that regulate the gastrointestinal tract. Especially the large intestine. Unfortunately, beverages containing probiotic cultures have almost reached their full potential.

First, people are increasingly abandoning cow's milk in favor of plant-based beverages: soy, almonds, rice, buckwheat, oats, and more. Secondly, technological strains of probiotic cultures are not curative, and the organoleptic characteristics

provided by probiotics to beverages - yogurts - have hardly changed in recent decades.

The tendency to enrich yogurts with superfoods (chia, flax seeds, wheat germ, etc.) also did not last long on the market. Adding pieces of fruit or nuts - dictates the use of flavors and stabilizers. After all, the introduction of even a small number of such components significantly increases the cost of the product and changes the taste, but does not improve it. Aromatic substances are used to regulate taste, completeness and brightness. Therefore, to be competitive, a product must be inexpensive, high quality and useful. Unfortunately, the "struggle" ends for this group only in the direction of price. By reducing the retail price, manufacturers reduce the amount of natural raw materials in the composition, make more packaging, put more sugar to ensure the preservative effect and do not care that it is very difficult to consume a bottle of sweet yogurt with a volume of 0.75 or 1 liter. Even 0.5 liters is not for everyone the volume that will fit in the stomach without discomfort. Therefore, the restoration of human gastrointestinal microbiosis through the consumption of beverages with a liquid base and those that regulate the gastrointestinal tract is the main task of technologists for the production of health drinks.

At the request of Bio Light LLC, we have developed technologies for dry and liquid concentrates of beverages containing oligosaccharides (10-15%) as a prebiotic component, plant extracts (0.03-0.15%), which regulate the work of the gastrointestinal tract (aloe, yarrow, fennel, wheat germ, chamomile, calendula, burdock, spirulina, chlorella) to increase the amount of indigestible dietary fiber were added to the powder of apples, pumpkin, beets, carrots, broccoli, tomatoes (1-10%). Powders and extracts from the fruit and berries (0.01-1%) were used to increase the antioxidant component.

Thus, based on the fact that the intestinal tract is colonized by a complex system of microorganisms, the population of which grows to 108 / per 1 g in the intestine and 1012 CFU in the colon, it should be noted that microorganisms present in the intestine provide a strong barrier to infection. produced by intestinal pathogens and are metabolic food for epithelial cells of the large intestine.

Dietary fiber recognized as functional ingredients or functional foods that are not digested or absorbed, but are subject to bacterial digestion in the gastrointestinal

tract. Despite the fact that most of the components that are part of the drink - plants - not all of them can be considered prebiotics. After all, the extracts are devoid of polysaccharide base, so the amount of nutrients for the intestinal microbiota comes from powders and oligosaccharides.

During the development and implementation of technologies for health drinks, which act as regulatory means for the gastrointestinal tract, the following was taken into account:

1. A food ingredient that is considered a prebiotic must resist gastric acidity, enzyme hydrolysis and absorption in the upper gastrointestinal tract;

2. Must be fermented by intestinal microflora;

3. Selectively stimulate the growth and / or activity of intestinal bacteria,

The production of functional beverages containing prebiotic compounds such as inulin, lactulose and fructooligosaccharide (FOS) has great potential for consumers and healthcare, as well as a very dynamic market. After consuming the prebiotic components of the microbiota of the host organism, it begins to actively increase. This reduces the passage of food in the intestines, normalizes digestion, lowers lipids and lowers blood glucose.

However, prebiotic components have several problems during or after their incorporation into the beverage base. First, most prebiotic components swell rapidly to form hydrocolloids, which alter the viscosity of beverages. After swelling, not all hydrocolloids can hold the initially introduced amount of water, over time there may be a problem of exfoliation and loss of appearance. Therefore, it is necessary to clearly determine the quantitative content of prebiotics in beverages and to conduct thorough testing of laboratory samples before the release of experimental and industrial batches. Experimental batches must be made to the minimum volume that may be added to the thermal cooking equipment or to the dosing apparatus. Thus, it is possible to establish critical control points and develop a plan for monitoring them during the process.

Oligosaccharides are considered to be the best way out of the situation - used in beverages (fruit drinks, coffee, cocoa, tea, carbonated water, soy milk, soft drinks, health drinks, powdered drinks and alcoholic beverages) and dairy products (fermented

milk, instant powder) , milk powder, yogurt and ice cream).

Oligosaccharides are classified as follows: fructo-, gluco-, galacto-, isomalto-, xylo- and soy-oligosaccharides, lactulose, lactose. Some scientists add inulin, gums, starches, pectins and chitosan to this list. However, the technological and rheological properties of the latter list differ significantly from the previous one. Sugar oligosaccharides form clear solutions with a slightly sweet taste. Polysaccharides from the last list - form denser solutions with opalescence, neutral in taste. The presence of organic acids in beverage solutions, in case of coexistence with sugary oligosaccharides, emphasizes their sweet taste and the drinks become sweeter and brighter during tasting. In an acidified environment, colloidal solutions of polysaccharides can be locally diluted and flow unevenly from the dispensers, changing the weight of the finished product in one volume of "normal dose" with undesirable complexity of packaging.

The different types of oligo and polysaccharides suitable for use in beverages are summarized below.

1. Fructooligosaccharides and fructans of the inulin type are linear fructans formed by two or more fructose monomers linked by β (1 → 2) bonds to form linear chains of several monomers known as short chain fructooligosaccharides or multiple monomers.

FOS and inulin can be digested quickly. The recommended daily dose - 5 - 10 g - activates bifidobacteria.

2. Galactooligosaccharides are indigestible polymers formed by galactose and glucose. They are produced from lactose by enzymolysis and with the participation of the enzyme β-galactosidase. The solubility is about 70% of the mass. / Mas.

3. Gums

Today, popular components belonging to the class of gums are xanthan, guar, gum arabic. The maximum daily intake is about 50 g. Gum is stable in acidic environments, can be combined with each other, give the taste of "kokumi" to finished products.

4. Sugar oligosaccharides

Isomaltooligosaccharides are branched oligosaccharides consisting of α-1.6 glucose residues. Are resistant to digestion by human enzymes.

Soy oligosaccharides - belong to the oligosaccharides contained in soybeans, other beans and peas. The two main soybean oligosaccharides are trisaccharide raffinose and tetrasaccharide stachyose.

Xylooligosaccharides derived from xylan-rich hemicelluloses. Most commercial items are obtained by enzymatic hydrolysis of xylan, which is isolated from biomass by extraction with potassium hydroxide. It can also be obtained from the almond by autohydrolysis at 150-190 ° C. The products have acceptable organoleptic properties and do not show toxicity to humans.

Persistent starches are defined as the sum of starch and the product of starch digestion that resists digestion in the small intestine of a normal person. Persistent starches were classified into four classes.

RS1 includes physically inaccessible starch, such as from legumes and seeds; RS2 contains specially structured granules that prevent the hydrolysis of digestive enzymes, such as potatoes. RS1 and RS2 are natural starches that are easily processed. RS3 contains retrograded starches formed during gelatinization and retrogradation during food processing. RS4 is obtained by applying standard methods of chemical modification of starch, such as crosslinking, substitution and dextrinization [334].

Consumers in the United States are increasing the protein content of their diet, making whey protein drinks a growing segment of the market in America. On the Eurasian continent, hydrolysates from plant seeds (pumpkin, sunflower) or soybeans, peas, chickpeas, lentils, mash and hydrolysates of cereals (wheat, amaranth, rice, oats, etc.) are more popular [335, 336]. Asian countries (Korea, Japan, Iran, Saudi Arabia, UAE) and the United States are increasing the consumption of beverages based on collagen and hyaluronic acid, amino acids, and their complexes [337]. We have also developed concentrates of protein-containing products for the preparation of "dry drinks" and their liquid forms. All contain a large number of branched-chain amino acids that support muscle recovery after sports training, restore the skin, have a rejuvenating effect, saturate the body with protein. In addition to basic nutritional

properties, whey proteins can support antimicrobial and antiviral activity, immune system stimulation, antioxidant capacity, anticancer activity and other metabolic properties. Taking into account the principles of gastronomic ingiring, we have created drinks with a wide range of action with different tastes, taking into account national, classic, modern wishes [338-340].

Therefore, taking into account the above information, the following approaches to the development of technologies for beverages with high content of biologically active substances are proposed.

Drinks were divided into 2 categories: ready to drink and ready to mix. Ready-to-drink drinks have the form of a drink placed in a bean unit - a glass or PET bottle, a glass or PET bottle of different volume - up to 0.5 liters. Ready-to-drink drinks are sent for sale in the form of powder in sticks or PET containers, additionally protected by a metallized seal and a lid that can be screwed with pre-opening control. Ready-to-drink beverages should be dissolved in water by consumers themselves, who can choose a liquid base and method of mixing.

The proposed drinks have more benefits for the body than just quenching thirst. Bioactive ingredients contained in plant extracts balance the nutritional deficiency of micronutrients and antioxidants, protein or amino acid components - support physical and mental health, improve beauty from the inside.

The new functional drinks, which are very easy to use and delicious, have a unique texture. As a scientific development - the subject of research has a novelty, allows you to create the image of a developer, has the status of healthy drinks and is in the segment of rapid growth.

At the forefront of consumer interests - substances with anti-aging, energy supply, relaxing effect or effect that improves beauty and digestion. On the second - preventive, protective and precautionary moments. On the third - stimulating and activating metabolic processes.

The use of plant extracts in beverages has many advantages. They offer a wide range of active ingredients and functions, as well as a wide range of known raw materials, which means that before explaining a new product on the market requires

little or no additional clarification and advertising to consumers. The proposed principles are also promising and adapted to the use of new raw materials, either by creating new taste profiles, or by scientifically elucidating previously unknown technological properties of hydrocolloids. The natural colors and general natural origin of the botanical extracts are also very well suited to satisfy the desires of consumers.

DOI 10.46299/ISG.2021.MONO.TECH.II-439-451

6.6 Разработка технологии плодоовощных напитков, обогащенных биологической добавкой коллагеном

АННОТАЦИЯ

Проблема старения человека очень актуальна сегодня. Механизмы старения тесно связаны со снижением в организме людей такого белкового вещества, как коллаген. Он составляет основу соединительной ткани человека, обеспечивает её прочность и эластичность. С возрастом запасы коллагена истощаются, его синтез замедляется, что ведет к появлению первых признаков старения. Одной из возможностей восполнения количества этого важного компонента является использование в питании коллагенсодержащих продуктов. Цель исследования - разработка рецептур нового ассортимента соковых продуктов на основе плодоовощного сырья, обогащенных коллагеном. Изучен ассортимент и показатели качества разных видов коллагена растительного и животного происхождения - томатного, говяжьего, свиного и рыбного. Определено оптимальное количество этой биологически активной добавки для обогащения соковых продуктов, при обеспечении требуемого качества напитков. Исследовано сохранение активных свойств различных видов коллагена в питьевом продукте, при его рецептурном содержании - фракционный и аминокислотный состав белка. Полученные данные позволили выбрать предпочтительный вид и рецептурное количество коллагена для обогащения продуктов. Также изучены органолептические и физико-химические показатели качества разработанных коллагенсодержащих композиций и доказано их соответствие нормативно-техническим документам. Проведенные научно-исследовательские работы свидетельствуют о целесообразности разработанных рецептур новых плодоовощных соковых продуктов, обогащенных коллагеном. Новый ассортимент напитков обладает лечебно-профилактическими свойствами, так как поставляет в организм человека важный биологически активный компонент, который тормозит негативные изменения, связанные с процессами старения.

Ключевые слова: напитки плодоовощные, животный и растительный коллаген, белок, аминокислоты, рецептуры, показатели качества.

ВВЕДЕНИЕ

В процессе жизнедеятельности организма непрерывно расходуются питательные вещества, выполняющие пластическую и энергетическую функции. Источником питательных веществ являются различные продукты питания, состоящие из комплекса сложных белков, жиров и углеводов. Наличие или отсутствие сбалансированного по белку рациона не даёт нормально развиваться биологическому организму. Следовательно, белок – это одно из мощных средств воздействия на популяцию человека на планете, на формирование умственно и физически развитого индивидуума. Трудно переоценить роль белков соединительных тканей, которые не сбалансированы по аминокислотному составу, но выполняют важнейшие пластические функции. Так, например, в последнее время роль коллагеновых белков в питании пересмотрена и его причисляют к белкам молодости, красоты и здоровья. Однако для его достаточного биосинтеза необходим витамин С в требуемом количестве для преобразования пролина в оксипролин, либо пополнение оксипролина за счет перевариваемых форм коллагена. Гидролизованный коллаген – это самая лучшая форма для усвоения организмом. С помощью различных кислот и щелочей в промышленных условиях коллагеновые волокна расщепляются на самые мелкие составляющие (аминокислоты и пептиды), кроме того, удаляются лишние балластные вещества, не имеющие отношения к коллагену. Имеется положительный опыт применения ферментов в получении растворимых форм коллагена, который нашел применение в косметологии, медицине и пищевой промышленности. Растворимый коллагена служит доступным источником оксипролина, необходимого для биосинтеза собственного коллагена. Поэтому, разработка ассортимента пищевых продуктов в состав которых входит биологически активная добавка - коллаген, сегодня очень актуальна.

В последнее время все чаще ученые рассматривают коллаген и его производные как активную пищевую добавку, которая входит в состав пищевого продукта либо принимается человеком перорально. Питьевой коллаген активно используется спортсменами, сторонниками активного образа жизни, а также в разнообразных диетах, он рекомендуется к приему только ограниченное время и в определенном рецептурном соотношении с другими компонентами. В тоже время, существуют такие продукты питания как сокосодержащие напитки, нектары, которые содержат в своем составе много полезных компонентов и добавление к ним коллагена повысит их пищевую ценность. При использовании коллагена в соках и напитках необходимо учитывать его количество и активную кислотность продукта, которая влияет на процесс его набухания, что, непременно, отразится на органолептических показателях напитков [341].

Коллаген и один из его производных - желатин оказывает благоприятное воздействие на кожный покров человека, улучшает состояние кожи, ее упругость и влажность. Большая часть коллагена, содержится в коллагеновых волокнах и является их главным структурным компонентом, основная функция которого, связана с формированием и поддержанием специфической структуры органов и тканей в процессе роста и развития организма. Стабилизирующая, опорная функция коллагенового волокна обеспечивается за счет его необычных биологических и физико-химических свойств (метаболическая инертность, устойчивость к действию различных веществ и т. д.) [341]. Биосинтез коллагена и образование коллагеновых волокон значительно усиливаются при различных процессах, сопровождающихся разрастанием соединительной ткани (склеротические изменения сосудов и органов, хронические воспалительные изменения, заживление ран и переломов костей и др.). Патологические изменения обмена и структуры коллагена у человека возникают при системных заболеваниях соединительной ткани (ревматизм, склеродермия и др.), при этом идут изменения биосинтеза или распада коллагеновых белков, что приводит к нарушению механических свойств коллагенового волокна и, следовательно, опорных свойств соединительной ткани. Коллаген и желатин применяют для

изготовления сосудистых протезов и пленок для лечения ран, а также в связи с использованием в некоторых отраслях промышленности (пищевой, легкой) [342-345].

Были проведены исследования, которые продемонстрировали положительный эффект перорального применение специфических биоактивных коллагеновых добавок на физиологию кожи. Если употреблять коллаген и в то же время достаточно двигаться, правильно питаться или даже полностью изменить свой образ жизни, действие коллагена будет ощутимо на любом жизненном этапе [346-351].

Коллаген в качестве добавки целесообразно вводить в те продукты, которые используются людьми постоянно, а не эпизодически. Были разработаны рецептуры функциональных фруктовых соковых напитков, обогащенных содержащих коллагеном из смесей апельсинового, яблочного и белого виноградного сока, содержащих такие ингредиенты, как гидролизованный рыбный коллаген, лимонная кислота, аскорбиновая кислота и натуральный мятный ароматизатор. Результаты показывают, что состав с добавлением 2,5% гидролизованного коллагена был оптимальным. Добавление гидролизованного коллагена увеличивало содержание белка в напитках с 0,56 до 2,22–2,48 г/100 мл. Результаты биодоступности in-vitro показали, что апельсиновый (95,37%) и яблочный (90,71%) напитки показали более высокую биодоступность (5–14%), чем смеси белого виноградного сока, для этого определяли содержание аскорбиновой кислоты, общее содержание фенолов, антиоксидантную способности в напитках [352].

Разработана технологии напитков типа «Шорли» с коллагеном на основе минеральных вод природного происхождения. В их состав входит различное плодовоягодное сырье. Проведено обоснование компонентного состава и рецептуры напитков на основе растворимого коллагена рыбного происхождения. Использовали гидрат коллагеновых белков из кожи толстолобика в виде 2% дисперсии, три вида питьевой минеральной воды: «Славяновская», «Ессентуки 4» и «Нарзан». В качестве плодово-ягодного сырья были выбраны соки малины,

вишни и черной смородины. Полученные образцы напитков обладают хорошими органолептическими и физико-химическими показателями [353].

Результаты проведенных исследований показывают, что основное внимание не было обращено на ежедневно потребляемые продукты, такие как различные соковые продукты.

Поэтому актуально провести исследования по разработке технологии продуктов питания с использованием коллагена, у которых регулируется значение величины активной кислотности для наиболее эффективного использования полезных свойств этого вещества, разработать рецептурные композиции соков и сокосодержащих напитков с использованием различных видов коллагена для создания легко усваиваемой пищевой продукции для решения проблем опорного двигательного аппарата и других функций организма человека. Сокосодержащие плодоовощные продукты являются источником витаминов, ферментов, органических кислот, которые способствуют гидролизу коллагена, получению его растворимой формы и источника оксипролина.

В работе разработаны рецептуры сокосодержащих плодоовощных напитков с использованием различных видов животного и растительного коллагена. Основной целью исследования являлось обеспечение минимизации влияния коллагена на органолептические и физико-химические характеристики разработанных рецептурных композиций готовой продукции при соблюдении его полезных биологических активных свойств.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Определены органолептические показатели коллагенов: стабильность водного раствора, запах, вкус, как в высушенном состоянии, так и в растворенном, которые представлены в табл. 1:

Таблица 1 - Органолептические показатели коллагена

Вид коллагена	Коллаген в высушенном состоянии	Водный раствор коллагена	Стабильность водного раствора
Говяжий	Без запаха	Без постороннего запаха и вкуса	Осадок отсутствует, незначительное помутнение
Свиной	Без запаха	Без постороннего запаха и вкуса	Образование взвесей и небольших хлопьев
Рыбный	Резкий рыбный запах	Резкий рыбный запах и вкус	Образование хлопьев
Растительный (томатный)	Запах томатного сырья	Запах и вкус свойственные томатам	Образование осадка

Как следует из табл. 1 по органолептическим характеристикам свиной, рыбный, томатный коллагены имеют либо резкие запах и вкус, либо дают образование взвесей, хлопьев и осадка при растворении, а коллаген растительного происхождения томатный обладает специфическим, характерным запахом томатов, поэтому его можно использовать только в соковых продуктах, в рецептуру которых входят томатопродукты. Поэтому, для исследований выбран коллаген животного происхождения, говяжий, в сухом виде.

Для окончательного выбора коллагеновой добавки, которую можно использовать в производстве соковой продукции, были проведены опыты по определению зависимости содержания белка от массовой доли коллагеновых добавок для всех исследованных образцов. Эксперименты проводили с использованием образца продукта "Нектар «Свекла-манго-яблоко», как наиболее чувствительного по органолептическим характеристикам - цвету, вкусу и запаху из изученных сокосодержащих продуктов. Входящий в него компонент - сок свекольный, окрашивает продукт в яркий бардовый тон. Добавление сухого коллагена, имеющего белый цвет, изменяет цвет напитка. Во вкусе базового продукта чувствуется яблочная нота, которая изменяется при

внесении коллагеновой добавки. В запахе исходной рецептуры присутствует аромат манго, который изменяется даже с учетом того, что говяжий и свиной коллаген по органолептическим показателям не имеют запаха. Таким образом, выбранный для исследований продукт является самым подходящим. Массовую долю коллагена в рецептуре нектара варьировали от 5.0 до 20.0% к общей массе продукта, который вводили за счет уменьшения в рецептуре основного сокового компонента. Такой интервал выбран с целью определения влияния не только вида коллагена на массовую долю белка в конечном продукте, но и для получения данных о содержании в конечном продукте массовой доли аминокислот – метионина, триптофана и оксипролина, которые характеризуют наличие коллагена в продукте (так как только коллаген положительно влияет на соединительные ткани организма) и отсутствие его денатурации в желатин. Результаты представлены в табл. 2:

Таблица 2 - Зависимость содержания белка от массовой доли коллагеновой добавки в продукте

Вид коллагена	Массовая доля коллагеновой добавки в соковом продукте, %				
	0	5	10	15	20
	Содержание белка, %				
Говяжий	2,01	2,62	2,40	2,55	2,60
Свиной	2,01	2,63	2,59	2,85	3,20
Рыбный	2,01	2,62	2,58	2,88	3,15
Растительный	2,01	2,21	2,33	2,40	2,62

Анализируя опытные данные, можно отметить, что начиная с 10% массовой доли коллагеновых добавок к рецептуре, начинается резкий рост белка в соковом продукте. При этом, в диапазоне от 5% до 10% для всех видов коллагена, содержание белка в соковом продукте остается практически постоянной величиной. Но увеличение коллагеновой добавки в рецептуре от 5% до 20% и выше приводит к ухудшению «питьевого» качества соковых продуктов, т.е. возникновению густой консистенции. Поэтому выбрана концентрация коллагеновой добавки в сокосодержащих продуктах на уровне 5% от суммарной рецептуры продукта.

Проведены исследования по определению фракционного состава белка в продукте с массовой долей 5% коллагена к основной рецептуре, данные которых представлены в табл. 3:

Таблица 3 - Фракционный состав белков в продукте с массовой долей коллагена 5%

Вид коллагена	Водная фракция*, мг/дм^3	Солевая фракция*, мг/дм^3	Спиртовая фракция*, мг/дм^3	Щелочная фракция*, мг/дм^3
Говяжий	93.16	5.14	1.10	0.60
Свиной	85.98	5.06	6.40	2.56
Рыбный	97.15	1.50	1.30	следы
Растительный	99.40	следы	следы	следы

*на абсолютно сухое вещество после лиофильной сушки образцов продукта.

Экспериментальные данные показали, что растительный коллаген вносит в продукт только водную фракцию белка. Коллаген животного происхождения, говяжий и свиной, вносит все виды исследуемых фракций в максимальном количестве, поэтому эти виды коллагена можно использовать для обогащения соковых продуктов.

Проведены опыты по определению содержания основных аминокислот, характеризующих наличие в соковом продукте коллагена (метионина, триптофана и оксипролина). Результаты этих экспериментов приведены в табл. 4:

Таблица 4 - Массовая доля метионина, триптофана и оксипролина в продукте

Вид коллагена	Метионин, %		Триптофан, %		Оксипролин, %	
	*	**	*	**	*	**
Говяжий	0.009867	0.6676	0.00296	0.020	0.342009	2.314
Свиной	0.10919	0.6176	0.000792	0.005	0.421314	2.383
Рыбный	0.018089	0.1142	0.00583	0.035	0.382577	2.295
Растительный	0.16649	1.153	0.002383	0.0165	0.028302	0.196
Без коллагена	0.001808	0.1142	0.000792	0.005	0.007492	0.0473

*на исходный продукт, **на абсолютно сухое вещество

Анализируя полученные данные в табл. 4, видим, что количество аминокислот в соковом продукте практически равно количеству этих же аминокислот в продукте, который изготовлен по исходной рецептуре без добавления коллагена. Только количество оксипролина существенно отличается от количества других аминокислот. Так же добавленный в рецептуру нектара коллаген гидролизуется в продукте в один из его маркеров - оксипролин, что показывает катаболизм этого белка. При внесении в продукт рыбного и свиного коллагена не изменяется количество метионина и триптофана, по сравнению с исходной рецептурой, соответственно. Эксперимент показал, что в образце нектара только говяжий коллаген обеспечил увеличение всех исследуемых аминокислот и, в связи с этим, как добавку выбираем коллаген животного происхождения - говяжий. Наиболее предпочтительным, является коллаген животного происхождения - говяжий в качестве биологической добавки в плодоовощные нектары и напитки, в количестве 5%, что обеспечит максимальное обогащение готового продукта коллагеном.

Проведены исследования по определению ассортимента соковой продукции, при этом учитывалось, что коллаген является белком и его введение в жидкие продукты приводит к возникновению в объеме продуктов желеобразной субстанции, которая проводит к ухудшению внешнего вида готовой продукции, консистенции; к появлению посторонних органолептических ощущений (запаха, вкуса) готовой продукции. Этот ассортимент включает в себя нектары и напитки, которые за счет наличия в составе достаточно большого количества плодовой мякоти (6-12%) [354] естественным образом скрывают от потребителя наличие желеобразной субстанции в объеме продукта, а равномерное распределение мякоти по всему продуктовому объему, обеспеченное процессом гомогенизации продукта при его изготовлении, не позволяет проявляться непривычным органолептическим ощущениям при потреблении готовой продукции.

При разработке рецептур сокосодержащих купажированных продуктов, обогащенных коллагеном, за основу приняты базовые рецептуры нектаров и напитков с мякотью в соответствии с нормативной документацией [355-359].

Рецептуры сокосодержащих продуктов, обогащенных коллагеном, % на 1 тонну готового продукта:

- Нектар «Персик»: пюре персиковое – 7, пюре яблочное - 18, бета-каротин 10% DSM - 0,05, глюкозо-фруктозный сироп 0,2 - 0,13, кислота лимонная – 0,1, кислота аскорбиновая – 0,05, говяжий коллаген – 5; вода подготовленная (обратноосмотическая обработка) – 69,67.

- Нектар «Банан - клубника»: сахарный сироп – 8,9; концентрат яблочного сока – 6,5; концентрат клубничного сока – 6,0; концентрат сока черной смородины – 6,0; пюре банановое – 8,7;кислота лимонная – 0,11; пектин яблочный – 0,1; говяжий коллаген – 5; вода подготовленная (обратноосмотическая обработка) - 48,69.

- Нектар «Яблоко - Гуава - Банан»: пюре яблочное – 10; пюре гуавы белой – 12; пюре банановое – 8,5; глюкозо-фруктозный сироп – 11,2; кислота лимонная – 0,085; кислота аскорбиновая – 0,085; пектин яблочный – 0,1; говяжий коллаген – 5; вода подготовленная (обратноосмотическая обработка) – 53,03.

- Нектар «Яблоко - Груша»: пюре яблочное – 80; пюре грушевое – 40; глюкозо-фруктозный сироп 42 – 12,2; кислота лимонная – 0,07; кислота аскорбиновая – 0,07; говяжий коллаген – 5; вода подготовленная (обратноосмотическая обработка) - 53,04.

- Напиток «Черника - Ежевика - Малина»: сок черники концентрированный – 5; глюкозо-фруктозный сироп – 12,2; кислота лимонная – 0,07; кислота аскорбиновая – 0,07; натуральный ароматизатор «Черника» - 0,01; натуральный ароматизатор «Ежевика-Малина» - 0,01; говяжий коллаген – 5; вода подготовленная (обратноосмотическая обработка) - 76,64.

- Нектар «Свекла - Манго - Яблоко»: сок яблочный концентрированный - 5,6; сок свекольный концентрированный - 15,5; пюре манго концентрированное - 10; сахарный сироп - 8,9; кислота лимонная – 0,07; говяжий коллаген – 5; вода подготовленная (обратноосмотическая обработка) - 54,93.

- Напиток «Яблоко - Мята»: сок яблочный концентрированный – 6,5; глюкозо-фруктозный сироп – 12,2; кислота лимонная – 0,07; кислота аскорбиновая – 0,07; натуральный ароматизатор «Яблоко» - 0,01; натуральный ароматизатор «Мята» - 0,01; говяжий коллаген – 5; вода подготовленная (обратноосмотическая обработка) - 76,14.

Проведены органолептические исследования, полученных образцов нектаров и напитков с мякотью, обогащенных коллагеном. Органолептические показатели разработанных рецептур соковых продуктов с коллагеном позволили определить оптимальные рецептуры — это соки и напитки с мякотью в ассортименте с добавлением говяжьего коллагена в количестве 5%. Результаты исследований позволяют сделать однозначный вывод о том, что полученные сокосодержащие продукты (нектары, напитки), в состав которых добавлен коллаген в количестве 5%, полностью удовлетворяют потребительским требованиям к этой пищевой продукции, в том числе и по консистенции.

Также были исследованы и определены физико-химические показатели разработанных базовых образцов нектаров и напитков с мякотью, обогащенных коллагеном, опыты проводились в 5-ти кратной повторности, критерий Стьюдента (t) 0,05) и представлены в табл. 5:

Таблица 5 - Физико–химические показатели сокосодержащих продуктов, обогащенных коллагеном

Наименование сокового продукта	Наименование физико–химических показателей					
	Массовая доля растворимых сухих веществ, %	Активная кислотность, pH	Массовая доля титруемых кислот, %	Массовая доля мякоти, %	Показатель цвета, Abs 420 нм, 10 мм	Показатель Brix, %
1	2	3	4	5	6	7
Нектар «Персик»	11,0	3,6	0,3	9,2	4,340	12,7±0,1
Нектар «Банан - Клубника»	11,0	3,8	0,25	15,0	3,553	12,3±0,1
Нектар «Яблоко - Гуава - Банан»	10,0	3,8	0,28	14,0	4,060	12,0±0,1
Нектар «Яблоко - Груша»	10,0	3,8	0,25	15,0	3,358	12,0±0,1
Напиток «Черника - Ежевика - Малина»	8,0	2,8	0,24	2,5	4,256	9,0±0,1
Нектар «Свекла - Манго - Яблоко»	12,0	3,5	0,25	2,7	3,339	13,0±0,1
Напиток «Яблоко-Мята»	9,0	3,5	0,22	1,2	2,893	9,1±0,1
Показатели в соответствии с нормативным документом	Не менее 9,0 для нектаров Не менее 8,0 для напитков	Не менее 3,5 для нектаров Не менее 2,5 для напитков	Не менее 0,25 для нектаров Не менее 0,22 для напитков	Не менее 9,0 для нектаров Не менее 1,0 для напитков	Не менее 3,0 для нектаров Не менее 2,0 для напитков	Не менее 11,0 для нектаров Не менее 9,0 для напитков

Как следует, из представленных в таблице результатов исследования физико-химических показателей разработанного ассортимента нектаров и напитков с мякотью с коллагеном, их значения полностью соответствуют действующей нормативно-технический документации на данный вид пищевой продукции.

ВЫВОДЫ

Исследованы ассортимент и органолептические показатели разных видов коллагена животного и растительного происхождения.

Изучены особенности различных видов коллагена для возможности их использования в сокосодержащих продуктах. Определена массовая доля коллагена в готовых сокосодержащих продуктах, которая составляет 5% и позволяет получить напиток по качеству в соответствии с нормативным документом.

Исследована степень сохранения биологически активной белковой добавки в готовых соковых продуктах (фракционный и аминокислотный состав), что позволило определить предпочтительный вид коллагена. Определено, что наиболее приемлемым видом коллагена для обогащения сокосодержащих продуктов является коллаген животного происхождения - говяжий.

Разработаны рецептуры сокосодержащих продуктов с коллагеном - это плодоовощные и ягодные, купажированные нектары и напитки с мякотью, замутненные.

Исследованы органолептические и физико-химические показатели качества готовых соковых напитков, обогащенных коллагеном и их соответствие требованиям нормативно-технической документации.

DOI 10.46299/ISG.2021.MONO.TECH.II-452-467

6.7 Розробка технології, органолептичні та технологічні характеристики козиного сиру із спеціями

Виробництво широкого асортименту молочних продуктів, в тому числі сирів, диктує необхідність пошуку різноманітних натуральних рослинних джерел сировини та наповнювачів на їх основі. Важливість даного питання обумовлена й іншими причинами: зростання споживання продуктів, підданих технологічній обробці, консервуванню і довготривалому зберіганню, споживання їжі швидкого приготування. В цьому плані значним джерелом якісної, стійкої до зовнішніх впливів сировини є козине молоко. Високі лікувальні властивості козячого молока давно відомі і оцінені лікарями-педіатрами, які рекомендують його як чудове доповнення материнського молока.

Як відомо, козине молоко споживають у натуральному вигляді, з нього отримують добрий кисломолочний сир і простоквашу, переробляють у різноманітні молочні продукти у суміші з коров'ячим (масло, сир), а з молоком овець (різноманітні сири). Виробництво останніх (як з молока овець так і кіз) розвивається досить швидкими темпами, в тому числі і в Україні.

Враховуючи вище наведене, розширення асортименту, удосконалення технології виробництва сирів із козиного молока взагалі на часі. Крім цього, розширення асортименту молокопереробного підприємства за рахунок сиру, виготовлених з козиного молока, збагаченого різноманітними вітчизняними спеціями є вкрай затребуваним у сучасних умовах.

Експериментальні дослідження проводились в умовах наукової лабораторії кафедри технології молока і молочних продуктів університету ЛНУВМБ ім. С. З. Ґжицького та на виробництві.

Метою досліджень було розробка технології козиного сиру із рослинними приправами та спеціями, вивчення органолептичних, технологічних та товарознавчих характеристик і властивостей пропонованого козиного сиру.

Як відомо, на виробництві та у приватних господарів традиційно виготовляється значна кількість видів козиного сиру, а звідси потреба у розробці

нових чи модифікованих технологій козиного сиру із використанням різноманітних приправ та спецій.

Серед спецій нами запропоновано: перець чорний; перець червоний; часник у різник кількостях та співвідношеннях. Додавання пропонованих спецій обумовлено їх високою біологічною цінністю.

Перець чорний мелений - стимулює секреторну функцію кишківника, володіє антисептичною дією, застосовують при простудних хворобах, сприяє відновленню сил.

Перець червоний є незамінним засобом і для тих, хто страждає розладами кишечника, так як він має досить високу бактерицидну дію. Приймають перець зовнішньо і при міозитах, ревматизмі, поліартриті, подагрі, при катарі верхніх дихальних шляхів у вигляді втирання настоянки або мазі.

Часник сушений застосовують як найкращий засіб проти склерозу і малокрів'ї, проти слабості, гіпертонії, стенокардії, бронхіальній астмі і, на кінець, це «еліксир молодості».

При розробці доз пропонованих приправ та спецій враховувались основні нормативні вимоги щодо рекомендованих добових норм споживання сиру для різних вікових груп лікувально-профілактичних доз приправ, спецій. Приправи та спеції вносилась безпосередньо у сирне зерно.

Особливо слід констатувати, що визначальним фактором при додаванні рослинних спецій повинно бути максимальне збереження (максимально можливе наближення) нормативних характеристик сиру.

Для оцінки якісних характеристик козиного сиру нами відбирались середні проби сиру згідно існуючих загальновідомих вимог та досліджувались згідно загально прийнятих методик.

Дослідження фізико-хімічних характеристик сиру та його дегустаційна оцінка проводились в у мовах лабораторії сирцеху.

Нашими дослідженнями розроблена та запропонована в умовах виробництва удосконалена механізована технологія козиного сиру із рослинними добавками із використанням певного набору спецій та приправ.

Нижче наведені експерименти передбачають використання комплексу спецій та приправ із уточненням доз внесення у сирне зерно.

Нами пропонується до запровадження в умовах сирцеху модифікована технологія виготовлення козиного сиру, що випускатиметься у вигляді кульок, в складі яких знаходитимуться різноманітні спеції та прянощі. Самі кульки згідно впроваджуваної технології розташовуватимуться у кукурудзяній олії та полістиролових баночках із кришками. В той же час і окремі технологічні операції та процеси потребують як удосконалення так і механізації.

В основі наших досліджень було використання вже існуючої технології виготовлення козиного сиру у формі кульок та в олії.

Традиційно виготовлення козиного сиру проводиться із дотриманням наступних технологічних прийомів.

Технологічна схема виробництва козиного сиру із спеціями

Приймання сировини

↓

Зважування сировини

↓

Фільтрація сировини

↓

Пастеризація молока (температура 72±2°С, 20-30 с)

↓

Охолодження молока до температури заквашування

↓

Внесення розчину хлористого кальцію (30-40 г на 100 л молока), сичужного ферменту (1 г на 100 л молока), закваски для м’яких сирів

↓

Заквашування (28-30°С – літом, 30-32°С - взимку)

↓

Сквашування (6-8 годин)

↓

Розрізання згустку

↓

Витримка 10-20 хв.

↓

Формування згустку у форми

↓

Самопресування (30-60 хв.)

↓

Пресування (30-60 хв.)
Охолодження сирної маси

↓

Змішування компонентів (сирна суміш, вершки, спеції)

↓

Пастеризація сирної маси (термізація) (80-85°С, витримка 20 хв.)
Охолодження суміші компонентів

↓

Формування сирних кульок

↓

Фасування в баночки, коробочки, заливання олією

↓

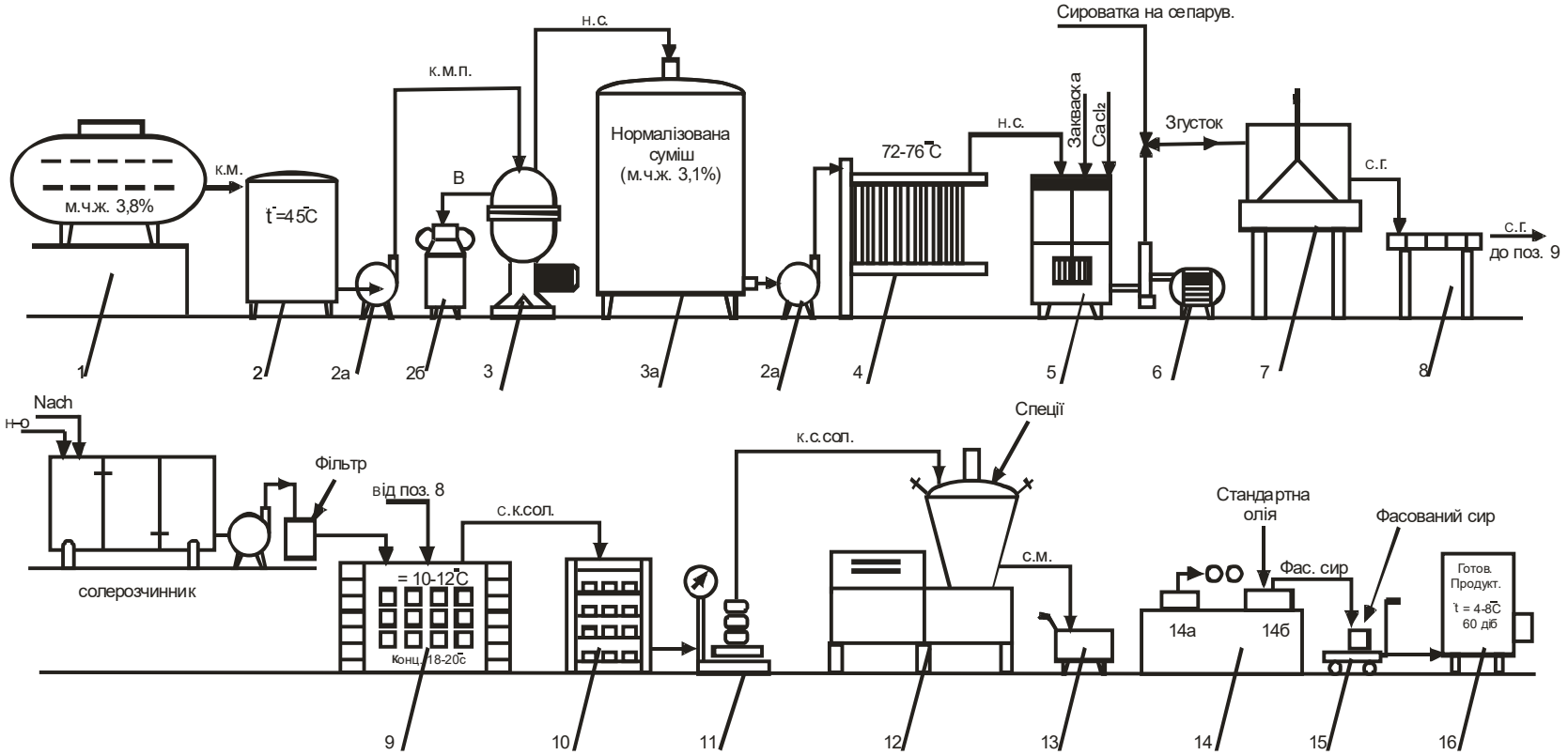
Зберігання

↓

Реалізація

Козине молоко з ємності надходить у ванну ВДП, де підігрівається до 40-45 °С і відцентровим насосом подається на сепаратор-нормалізатор. Там молоко нормалізується до необхідної жирності (3,1%). Вершки збираються у фляги і направляються в холодильну камеру для охолодження, зберігання і подальшої переробки.

Технологічна схема виробництва козиного сиру з спеціями.



1 - контейнер
2 - ванна ВДП з охолоджуючою сорочкою
2а - відцентровий насос
2б - бідон для вершків
3 - сепаратор - нормалізатор
3а - проміжна ємність для суміші
4 - пластинково - пастеризаційно - охолоджувальна установка
5 - ванна сироробна ОК-СР-1000 (V-1000л., діаметер 1,5)
6 - мембранний насос
7 - прес Л5 - ОПГ

8 - технологічний стіл з формами для самопресування
9 - басейн універсальний (на 1200л.) з росолом
10 - палички для обсушки
11 - ваги
12 - агрегат харчовий універсальний АПУ-63
13 - технологічний возик
14 - технологічний стіл
14а - електронна вага
14б- баночки з олією
15 - платформа
16 - холодильна камера

К.м.- козине молоко сире
к.м.п.- козине молоко підігріте
н.с.- нормалізована суміш
п.с.- пастеризована суміш
с.г.- сирний згусток
с.к.сол.- Козиний сир солений
с.м.- сирна маса козина
ф.м.- формована маса
в.- Вершки

	Розробка рецептури, особливості технології та фізико-хімічні показники козиного сиру з спеціями	
	Технологічна схема виробництва козиного сиру з спеціями	ЛДАВМ, ФХТ

Нормалізована суміш подається у резервуар, звідки насосом подається на пастеризаційно-охолоджувальну установку фірми «Екоком» (продуктивністю 1000 л/год.), де пастеризується при 72-76 °С і охолоджується в секції рекуперації до температури сквашування (28-35 °С (залежно від пори року). Секцію охолодження відключають. Підігріта суміш подається у ванну, куди вноситься бактеріальна закваска для м'яких сирів у вигляді концентрату. Залишають суміш при температурі згортання до наростання кислотності 22-24 °Т. Після цього, в суміш вносять молокозгортальний фермент у вигляді розчину, який готують згідно з інструкцією. Після чого, суміш перемішують 1-2 хв і зупиняють мішалку до утворення однорідного згустку (50-90 хв.). Завершення згортання оцінюють за станом згустку. Потім згусток розрізають 2х2 см, залишають на 20 хв у спокої і зливають 30% сироватки. Далі згусток після витримки вимішують 15-20 хв і зливають (при потребі) ще 15-20% сироватки.

Після цього мембранним насосом згусток подається у прес-візок Л5-ОПТ, де формується сирний пласт. Далі сирний пласт розрізають і для подальшого зневоднення і надання правильної форми, зв'язаної консистенції брусок викладають у перфоровані форми, які періодично перевертають. Тривалість самопресування залежить від температури і кислотності. Сформовані головки поміщають у басейн з розсолом (18-20%) і температурою 10-12 °С на 1,5-3 год. Засолені головки викладають на полиці або контейнер для обсушування. Після обсушування сир зважують, виймають з форм і подають у спецагрегат АПУ-63, де він подрібнюється, ретельно перемішується, при потребі нормалізується і в підготовлену масу вносять спеції за рецептурою.

Однак, пропозиція внести у рецептуру відповідні спеції зумовила потребу у деяких додаткових технологічних заходах.

Так, пропоновані спеції повинні використовуватись в сухому вигляді, у вигляді готових екстрактів або масляних витяжок, про що вказується у супровідних документах щодо їх використання.

Попередньо всі спеції підлягають попередній дезінфекції-термообробці. Так, насіння кмину та інші, при необхідності, просіюють, обробляють гарячою

водою при температурі 95-100 °С. Чорний перець, пахучий перець, гвоздику та інші спеції використовують в подрібненому вигляді – перед подрібненням, по можливості, прогрівають гарячим повітрям.

Після ретельного вимішування сирну масу в тому ж агрегаті термінують при 80-85 °С з витримкою 20 хв при постійному перемішуванні. Після цього дана маса там же охолоджується і подається в технологічний возик.

Маса викладається на технологічний стіл, на якому формують (вручну) кульки сиру по 22-24 г (контролюють на електронній вазі).

Руки попередньо обробляють миючими розчинами, споліскують і обробляють етиловим спиртом. Готові кульки викладають у сухі чисті баночки (попередньо оброблені спиртом), куди наливають стандартну кукурудзяну олію до повного покриття кульок сиру. Баночки закривають і фасований сир в олії направляють у камеру зберігання на 2-3 доби.

Транспортування продуктів повинно проводитись в автомобілях-рефрижераторах чи автомашинах з ізотермічним кузовом відповідно до діючих правил перевезень продуктів, що швидко псуються, які діють на даному виді транспорту.

Зберігання сиру у рослинні олії проводиться при відносній вологості повітря (80±5)% і температурі від 0 до +4°С – не більше 90 діб, температурі від +4 до +8°С – не більше 60 діб.

Кожну партію сиру оцінюють по фізико-хімічних, мікробіологічних та органолептичних показниках.

На основі попередніх досліджень були отримані зразки рецептур козиного сиру із спеціями: 1 варіант – чорний перець з часником та 2 варіант – суміш приправ (перець чорний, перець чорний пахучий, перець червоний).

У таблиці 1 наведені рекомендовані та пропоновані рецептури козиного сиру із різноманітними приправами в оптимальних, на нашу думку, кількостях.

Таблиця 1

Рецептура козиного сиру із різноманітними приправами

№ п/п	Назви компонентів	Варіанти рецептур	
		№1	№2
1.	Сирне тісто	995,6	968,9
2.	Чорний перець	0,4	27,6
3.	Часник	4,0	-
4.	Перець червоний	-	3,5
5.	Всього	1000	1000

Всі рекомендовані зразки поряд з високими дегустаційними оцінками володіли належними товарознавчими характеристиками, що дає підстави рекомендувати дані рецептури в якості промислових для технологічного процесу базового господарства.

Аналіз органолептичних характеристик як базового козиного сиру та із спеціями та приправами є складовою комплексу показників, проведених нами в умовах виробничої лабораторії підприємства.

До комплексу показників органолептичної оцінки козиного сиру входили дослідження смаку, запаху, консистенції, рисунок сиру, зовнішнього вигляду та стан тіста.

З метою порівняльного аналізу щодо базового сиру (прототипу) нами був вибраний сир м’який «Чайний», що за фізико-хімічними показниками (мчж в СР 50%, мч вологи 57% , солі 1,0%) був найбільш близький до м’якого козиного сиру, що був виготовлений нами в умовах сирцеху козиної ферми.

Органолептичні показники м’якого козиного сиру традиційного та із спеціями та приправами наведено у таблиці 2.

Таблиця 2

Органолептичні показники м’якого козиного сиру із використанням спецій та приправ

Назва сиру	Назва показників та їх характеристика				
	смак і запах	консистенція, поверхня	рисунок	зовнішній вигляд	колір, стан тіста
М’які сири (на прикладі «Чайного» сиру)	Чистий, кисломолочний, солонуватий, без сторонніх присмаків і запахів	Ніжна, однорідна, мазеподібна, при повній відсутності крупинчатості	Тісто без вічок, у вигляді к/м маси, допускаються дрібні пустоти	Сир представляє собою сиркову масу у фользі, коробках та ін.	Від білого до світло-жовтого кольору, однорідне по всій масі
Сир козиний м’який із спеціями та приправами	свіжий, ситний, навіть вишуканий, в міру солений, із присмаком спецій	Однорідна, пластична, гладенька, в окремих місцях шероховатості (особливо біля спецій)	Однорідна маса, в міру щільна	Кульки правильної форми, маса 20-25 г, на кульках видні куски доданих спецій	Білий, жовтуватий колір, залежно від виду доданих спецій

Отриманий сир, в основному, відповідав нормативним вимогам що пред’являються до м’яких сирів даної групи (без дозрівання). Так, смак і запах дослідного сиру був ситний, в міру специфічний із присмаком спецій та приправ (при їх додаванні). Консистенція сиру була однорідна, при зовнішньому огляді чітко видно додані спеції та приправи, пластична із окремими шероховатостями.

Колір кульок сиру був білий із легким жовтуватим відтінком залежно від кількості доданих приправ.

Згідно нормативних вимог, фізико-хімічні показники доповнюють комплекс обов'язкових досліджень контролю кожного сиру.

Результати фізико-хімічних показників м'якого козиного сиру (традиційного та зі спеціями) наведені у таблиці 3.

Таблиця 3

Технологічні показники м'якого козиного сиру зі спеціями та приправами в рослинній олії

№ п/п	Назва сиру	Технологічні показники сиру, %			Маса сиру (кульки)	Форма сиру	Енергетична цінність, ккал
		мгж, %	мг вологи	мч солі			
1.	Сири м'які (нормативні умови)	50	57	1,0	Сиркові брикети 80-100 г	Брикети, крупки	224,0
2.	Сир козиний м'який з спеціями в рослинній олії	50	47-48	1,4-1,5	20-25 г в упаковці 5-6 кульок	Круглі кульки	245,0-247,0

Цифровий матеріал таблиці свідчить, що масова частка жиру даного сиру складає 50%, масова частка вологи 47-48%, вміст солі 1,4-1,5%, а енергетична цінність 245-247 ккал.

При зовнішньому огляді даний сир пропонується у формі круглих кульок масою 20-25 г (по 6-7 кульок в олії у полістироловій баночці).

Додавання до сирного зерна рослинної фітоспецій не лише надало продукту оригінальних органолептичних характеристик, але й підвищило його енергетичну цінність та зростання вмісту вітамінів.

У цьому випадку збагачення традиційного козиного сиру пропонованими фітоспеціями буде позитивно впливати на додаткове збагачення біологічно-активними речовинами, а саме вітамінами. Нашу теоретичну гіпотезу наочно підтверджують цифрові дані представленої таблиці 4.

Таблиця 4

Вміст вітамінів у зразках сиру традиційного виробництва та м'якого сиру козиного зі спеціями та приправами в олії

№ п/п	Досліджувані зразки	Вміст вітамінів					
		А мкг	β-каротин мкг	Д мкг	Е мг	B_2 мг	B_{12} мг
1.	Нормативні величини	407,0-410	77,0-80,0	0,5-1,0	0,3-0,5	0,5-0,7	0,1-0,3
2.	Сири традиційні, що випускаються в господарстві	405,0	77,0	0,5	0,4	0,5	0,1
3.	Сир козиний м'який	409,0	77,0	0,5	0,4	0,5	0,1
	Сир козиний м'який зі спеціями та приправами	411,0	80,0	0,8	0,6	0,5	0,2

Як видно із цифрового матеріалу виявлено позитивну тенденцію щодо зростання у сиру із спеціями всіх нормативно передбачених вітамінів.

Слід зазначити, що цей приріст був незначний та знаходився на верхніх границях концентрацій. Найвищі величини приросту виявлені нами у 2-х вітамінів: А і Е.

Вкрай важливим етапом оцінки як традиційної, так і модифікованої молочної продукції є її дегустаційна оцінка, яка має на меті оцінити її смакові та товарні якості відносно нормативних вимог. Дегустаційна оцінка оцінюється за певною нормативною шкалою, яка розроблена для належного вигляду продукту.

Органолептичні показники якості сиру, а також якість фасування оцінюють по 100-бальній системі.

При загальній оцінці виготовленої нами в умовах базового підприємства була проведена виробнича дегустаційна оцінка продукції. Як бачимо з даних дегустаційної оцінки козиного сиру виготовленого традиційним способом та із пропонованими спеціями продукція повністю відповідала нормативним вимогам (відповідно 97, 98 балів із 100 можливих).

Таблиця 5

Результати дегустаційної оцінки сиру козиного традиційного та із додаванням спецій

Органолептичні показники	Варіанти сиру (бали)		
	Нормативні вимоги	Сир козиний	Сир козиний фітоприправою
Смак і запах	45	44 (-1)	45
Колір	5	5	4 (-1)
Консистенція	25	24 (-1)	25
Малюнок	10	10	9(-1)
Зовнішній вигляд	10	10	9 (-1)
Фасування і маркування	5	5	5
Всього	100	98	97

Підсумком комплексної оцінки дослідних зразків сиру з рослинними біодобавками є майже повна відповідність традиційним нормативним вимогам.

Таким чином, виготовлення козиного сиру в умовах виробництва із використанням пропонованих спецій оправдане, корисне як для практиків, так і в науковому та лікувально-профілактичному плані.

Як відомо, кожен харчовий продукт повинен бути не лише смачним, оригінальним у фасуванні, але й, що основне, безпечним щодо споживача.

Згідно нормативних вимог показниками безпеки сичужних сирів є вміст важких металів та належні мікробіологічні показники. Враховуючи вище сказане було проведено дослідження на вміст важких металів у зразках базового та дослідного виду сирів.

За результатами досліджень отримано цифровий матеріал, що характеризує вміст у сирах 7 елементів, які наведені у таблиці 6. Аналіз табличних даних наочно ілюструє, що вміст токсичних елементів – солей важких металів у всіх зразках був у значно меншій кількості, ніж передбачено допустимими нормами. Особливо це стосується вмісту миш'яку та ртуті, вміст яких у дослідних зразках не виявлено. Кількість свинцю та кадмію складала відповідно 0,187-0,191 та 0,004-0,003 мг проти 0,3-0,2 (гранично допустимі кількості). Кількість міді та цинку також знаходилась у дослідних зразках в кількостях, які на 2 порядки нижчі ГДК (0,6-0,82 проти 4,0; 6,2-8,6 проти 50,0).
До показників безпеки, на які досліджують всі харчові продукти відносять і мікробіологічні дослідження До показників безпеки, на які досліджують всі харчові продукти відносять і мікробіологічні дослідження.

Таблиця 6

Вміст важких металів у зразках сиру традиційного виробництва та м'якого сиру козиного зі спеціями та приправами в олії

№ п/п	Досліджувані зразки	Вміст важких металів					
		Свинець ГОСТ 26932-86	Кадмій ГОСТ 26333-86	Миш'як ГОСТ 26930-86	Ртуть ГОСТ 26927-86	Мідь ГОСТ 26931-86	Цинк ГОСТ 29934-86
1.	Нормативні величини	0,3	0,2	0,2	0,02	4,0	50,0
2.	Сири традиційні, що випускаються на підприємстві	0,17	0,003	н/в	н/в	0,20	7,2
3.	Сир козиний м'який	0,19	0,004	н/в	н/в	0,34	8,4
	Сир козиний м'який зі спеціями та приправами	0,191	0,003	н/в	н/в	0,42	8,5

Як відомо, розвиток сторонньої мікрофлори у готовому продукті – це одна з основних причин псування сичужних сирів. Мікробіологічні дослідження необхідні тому, що в результаті розвитку небажаної мікрофлори можливі захворювання та отруєння людей.

При виробництві сичужних сирів визначальну роль відіграє специфічна, технічно-важлива мікрофлора – мікроорганізми закваски і пастеризованої молочної основи (суміші), що формують фізико-хімічні та органолептичні властивості продукції. У зв'язку з цим, контроль розвитку цієї мікрофлори займає важливе місце при виробництві сичужних сирів.

Особливу увагу слід звертати на санітарний стан виробництва сичужних сирів, щоб не допустити попадання сторонньої мікрофлори у готовий продукт. Мікробіологічний контроль виробництва сичужних сирів складається з досліджень молока після пастеризації, з ванни чи сировиготовлювача, сиру після пресування та зрілого сиру на наявність бактерій групи кишкової палички. Згідно правил мікробіологічного контролю обов'язковим є проведення посівів з нормалізованої суміші, сиру після пресування та зрілого сиру на середовище Кеслера.

Проведені мікробіологічні дослідження дослідних зразків сиру козиного м'якого традиційного та зі спеціями, результати яких наведені у таблиці 7.

Таблиця 7

Результати мікробіологічних досліджень козиного сиру та сиру із фітоспеціями

№	Назва показника	норма	Сир	
			Сир козиний	Сир козиний із спеціями
1	БГКП в 0,01 г продукту	Не допускається	Не виявлено	Не виявлено
2	Патогенні мікроорганізми в т. ч. сальмонели в 25 г продукту	Не допускається	Не виявлено	Не виявлено

3	Staph.Aureusв в 1,0 г продукту, не більше	5×10^2	Не виявлено	Не виявлено
4	Listeria monocytogenes, в 25 г	Не допускається	Не виявлено	Не виявлено

Як видно з табличного матеріалу, мікробіологічна оцінка дослідних зразків сиру козячого м'якого (традиційного та зі спеціями), повністю відповідає нормативним вимогам.

Таким чином із представлених таблиць дегустаційної оцінки м'якого сиру козиного зі спеціями, органолептичної, технологічної оцінки продукції, її біологічної цінності, показників безпеки козині сири із пропонованими спеціями повністю відповідають нормативним вимогам. Це дає нам підставу рекомендувати сир м'який козячий із спеціями (за розробленими рецептурами), в якості ще двох одиниць асортименту для виробників козиних сирів .

Висновки:

1. Розроблено та впроваджено технологію виробництва м'якого козиного сиру із спеціями в умовах виробництва.

2. Пропонована технологія та запропоноване обладнання дає можливість виготовляти козиний сир навіть із невеликих об'ємів козиного молока (навіть 100-150 л).

3. Розроблено та запропоновано промислову рецептуру м'якого козиного сиру зі спеціями.

4. Дослідні зразки м'якого козиного сиру володіли нормативними органолептичними та технологічними характеристиками.

5. Показники безпеки дослідних зразків козиного сиру були в межах нормативних вимог.

6. Пропонована продукція відзначається підвищеною біологічною цінністю має підвищені кількості нормативно передбачених вітамінів.

7. Виробництво даної продукції передбачає використання місцевої

сировини та вітчизняних приправ та спецій.

8. Виробництво даної продукції дозволяє розвивати альтернативні джерела молочної сировини – козине молоко та розширювати вітчизняний молочний асортимент новими її зразками.

9. Дана продукція розширює вітчизняний асортимент продуктів лікувально-профілактичного напрямку.

DOI 10.46299/ISG.2021.MONO.TECH.II-468-483

6.8 Розробка технології структурованих десертів з детокс властивостями

Сучасний ритм життя працездатного населення, що включає стреси, недосипання, ненормований робочий графік, перекуси замість правильного режиму харчування, фаст-фуд, сприяє погіршенню імунітету і організм кожного індивідуума стає більш схильним до різних захворювань, у тому числі хвороб хребта і суглобів. Сьогодні всі розвинуті країни питання здорового харчування висунули на рівень державної політики [365-367], Україна не є виключенням [368]. Забруднення навколишнього середовища є причиною накопичення в організмі людини токсичних речовин, що не виводяться, спричиняючи розлади у роботі шлунково-кишкового тракту (ШКТ). Тому, актуальним є створення профілактичних харчових продуктів з вираженими детоксикаційними властивостями для людей з порушенням функцій опорно-рухового апарату для впровадження у закладах ресторанного господарства (ЗРГ).

Токсичні речовини послаблюють імунітет та здатні накопичуватись у тканинах організму людини [369]. Для підвищення опору цим речовинам рекомендується виживати захисні компоненти їжі, до яких відносять антиоксиданти, вітаміни C, P, A, E, B_2, B_9, PP, P; амінокислоти: цистеїн, метіонін, глютамінова кислота; мікронутрієнти: Cu, Mn, Zn, Se, харчові волокна, альгінати, фітати, ліпотропні та антиатеросклеротичні речовини [369]. За даними ВООЗ захворювання опорно-рухового апарату (ОРА) посідають 4 місце серед найбільш розповсюджених у світі, так званих «хвороб цивілізації» [370-371]. З віком загострюються вроджені і набуті протягом життя хвороби [371]. На жаль, тенденція останніх десятиліть вказує на «помолодшання» хвороб цивілізаціїї.

Під час старіння відбуваються певні біохімічні зміни у з'єднувальній тканині, яка в свою чергу складається з таких білків, як: колаген та еластин, а також неколагенових структурних білків: ламінін, фібронектин та інших [372]. Остеопороз є хронічно прогресуючим системним захворюванням, що характеризується зниженням щільності кісткової тканини у людини і, як

наслідок, збільшення. ламкості кісток [373]. Його причинами можуть бути дефіцит вітаміну D, негативні звички (куріння, алкоголь), пасивний спосіб життя, ожиріння, погане харчування, довготривале приймання стероїдних препаратів та препаратів, що розріджують кров [373]. Для попередження розвитку остеопорозу необхідно, щоб у харчовому раціоні було достатньо кальцію, а для його кращого засвоєння необхідна присутність фосфору та магнію [374]. Співвідношення Ca:P та Ca:Mg повинно бути 1:1,1(1,5) та 1:0,7 відповідно [368, 374]. Переважання фосфору над кальцієм сприяє виведенню останнього із кісткової тканини, що і є передумовою зниження щільності та підвищення ламкості кісток [374].

Найбільш поширеними серед захворювань з'єднувальної тканини є остеоартрит (дегенеративний розлад, який виникає в результаті біохімічного руйнування гіалінового хряща в синовіальних суглобах), який є однією з основних причин інвалідності та передчасної втрати працездатності [372]. Протягом останніх 30 років вчені аналізують і досліджують нутрицевтики, які слід використовували у якості допоміжної сировини при лікуванні остеоартриту, серед них були представлені гідролізат колагену (ГК) та вітамін D, які показали високу ефективність при лікуванні остеоартриту [375]. Для регенерації тканин суглобів необхідне відповідне харчування, перш за все, забезпечити синтез в організмі колагену, котрий утворюється у результаті розщеплення білків з продуктів харчування. Утворення білків зупиняється, якщо відсутня хоча б одна незамінна амінокислота. При формуванні раціону харчування важливо споживати продукти, які посилюють синтез колагену.

Відома БАД – тваринний ГК Fortigel (СіЕйч-Альфа), котру випускають у готовій до вживання легкозасвоюваній формі (питний розчин). Його використовують для відновлення функцій гіалінового хряща. Відсоток больових синдромів та запалень після тритижневого вживання БАД у поєднанні з стандартною терапією помітно знижується на 5-7% [376-377].

ГК стимулює регенерацію волокон колагену шкіри, уповільнює процеси її старіння, надає шкірі пружності і молодості, у ньому наявні дві амінокислоти – оксипролін і оксилізін. ГК виступає у якості джерела гліцину (вміст до 30 %) [378]. На підставі фізіологічної дії колаген можна віднести до харчових волокон. Доведено, що при оптимальному поєднанні м'язових білків і колагену показник чистого засвоєння білка максимальний (близько 97%) [379-380]. Продукти гідролізу колагену (ГК, желатин та ін.) позитивно впливають на стан і функцію корисної кишкової мікрофлори, активно стимулюють секреторну і рухову функції шлунку та кишечника [380]. Вживання ГК у якості БАР для профілактики порушень та підтримання нормального функціонування ОРА є необхідним у сучасних умовах життя. ГК тваринного походження є досить добре вивченими, а от рибні або морські ГК є перспективним полем для досліджень їх функціональних можливостей, розширення спектрів функціональної активності і напрямків застосування. У харчовій промисловості колаген і ГК широко використовуються при виробництві вина, формованих виробах, бульйонів, драглів, соусів, у якості добавок у хлібопекарському і кондитерському виробництвах [381]. Рибний колаген є гіпоалергенним, оскільки на 96 % ідентичний до людського білка [382-384]. Згідно до даних досліджень [385-387] встановлено спорідненість властивостей фракцій колагенових волокон із харчовими волокнами рослин. З цього випливають сорбційні властивості тваринного ГК. Оскільки ГК є продуктами гідролізу колагену, то наявність подвійних зв’язків, вільних амінокислотних залишків і маловивченість рибних ГК виступає передумовою і полем для досліджень детокс властивостей рибного ГК.

Найбільш широко у виробництві харчових продуктів використовують рослинну сировину багату на розчинні харчові волокна. Псилліум є особливим харчовим волокном, яке входить до складу лушпиння рослин роду Подоро́жника (*Plantágo*), котрий має 200 видів, широко поширених у всьому світі у регіонах із помірним кліматом [388-389]. Лушпиння насіння подоро́жника – це зовнішня

шкіра насіння, яка видаляється під час його механічної обробки та може становити близько 25-26% від насіння і є цінним джерелом харчових волокон (ХВ). [388-389]. Псилліум володіє високою водопоглинальною властивістю [390] та є субстратом для корисної мікрофлори кишківника, при чому майже не містить легкозасвоюваних вуглеводів, що дозволяє вживати його при порушеннях ліпідного обміну, для пониження калорійності раціону, при цьому не порушуючи нормальну роботу ШКТ [391].

Вченим вдалось за допомогою хімічного розщеплення виділити три фракції з подрібненого насіння подорожника, а саме: А, В і С [390]. За допомогою фракції А, котра не розчиняється у лужному середовищі і не ферментується бактеріями, псилліум виступає агентом, що збільшує об’єм вмісту кишківника [390]. Дія фракції А визначається посиленням перистальтики кишківника, що клінічно підтверджено даними про меншу ефективність цього харчового волокна у хворих з неврологічно обумовленим уповільненням пасажу вмісту через кишку [392].

Фракція В відповідає за формування гелю і складається з високорозгалудженого арабіноксилану, який в свою чергу складається з остова ксилози з арабінозо- та ксилозовмісними боковими ланцюжками [390]. Ця речовина погано ферментується та утримує велику кількість рідини, утворюючи гель, який виступає в ролі ентеросорбента, фіксуючи молекули цукрів та канцерогенів [390]. До того ж цей гель, виконуючи роль змазки, полегшує проходження калових мас [390, 393], а через зміну pH кишечного вмісту впливає на активність ферментів, що беруть участь в ліпідному обміні [390, 394].

Третя фракція С виражена слизом, що не здатен утворювати гель, однак підвищує в’язкість вмісту шлунку та сповільнює його евакуаційну властивість, при цьому знижується почуття голоду [390]. Дана фракція легко ферментується, тим самим збільшуючи ріст лакто- та біфідобактерій [395].

Псилліум володіє антинеопластичною та протизапальною дією, крім того деякі дослідження вказують і на його імуномоделюючу дію [390, 396]. Така

гетерогенність хімічного складу псилліуму дає можливість для його широкого використання у гастроентерології [390]. Високий вміст харчових волокон у складі раціонів харчування призначають для профілактики та лікування хвороб шлунково-кишкового тракту, злоякісних новоутворень і захворювань, при яких спостерігається підвищення рівня цукру та ліпідів в крові [390]. Псилліум використовують при хронічних захворюваннях печінки та печінковій енцефалопатії [397], в гастоентерології та колопроктології [390], оскільки він сприяє нормалізації роботи товстої кишки, нормалізації і відновленню кишкової мікробіоти [397]. Отже, його детокс властивості підтверджуються літературними даними досліджень вчених близького та далекого зарубіжжя.

Аналіз ринку функціональних продуктів, представлених в Україні та світі, показав невеликий вибір десертів, що володіють детокс властивостями. А анкетування серед населення м. Одеси (в анкетуванні взяло участь 156 осіб) показало необхідність насичувати ринок десертами на молочно-рослинній основі.

Відомий збитий кисломолочно-рослинний десерт з насінням чіа з підвищеним вмістом ПНЖК [398]. Рецептура страви включає харчову емульсію (основа – купажована олія), закваску, знежирене молоко, насіння чіа як функціональний інгредієнт та стабілізатори консистенції – желатин і патоку [398]. Збитість десерту складала 110%, титрована кислотність 68°Т [398].

Введення до рецептури молочного десерту цитрусових дієтичних волокон «Citri-Fi» дозволило зменшити калорійність на 90 Ккал та підвищити харчову цінність продукту на 21% [399]. Було встановлено, що співвідношення структуроутворювача пектину і харчових волокон впливає на реологічні властивості страви; додавання харчових волокон «Citri-Fi» у кількості 3% у страві дозволяє знизити вміст вершків у новому десерті на 25% та наблизити за органолептичними показниками до контрольного зразка [399].

Розроблено низькокалорійний дієтичний десерт з кисломолочного сиру з овочевим наповнювачем, а саме з гарбузовим пюре, калорійність продукту при

цьому становила 25 калорій на 100 г продукту [400]. Цей десерт забезпечує організм повноцінним білком та рослинними харчовими волокнами і рекомендується всім верствам населення як білка та бета-каротину[400].

У рецептуру сирного суфле в якості структуроутворювача вводили желатин, що забезпечило потрібну консистенцію, а порошок пажитника забезпечував функціональність даної страви [401]. Десерт рекомендовано до споживання в якості профілактики серцево-судинних захворювань всім верствам населення [401].

У [402] на основі класичного десерту «Самбук з яблук» було створено новий десерт для профілактики серцево-судинних захворювань шляхом заміни основної сировини – яблук на хурму, а для насичення десерту кальцієм, фосфором та вітамінами групи В, РР у рецептуру ввели маслянку – вторинний молочний продукт, підсолоджувачем було обрано стевію.

Таким чином, ефективно використовують як харчові інгредієнти у рецептурах як рослинного так і тваринного походження. Інформації щодо сумісного використання псилліуму і ГК в одній страві немає, тому було вирішено дослідити можливість створення ддетокс-десерту з урахуванням принципів і рекомендацій щодо здорового харчування дорослих.

Метою роботи є розробка технології десерту з вираженими детоксикаційними властивостями для людей, з порушенням функцій опорно-рухового апарату. Для досягнення поставленої мети було поставлено наступні задачі: дослідити детокс властивості ГК; провести оптимізацію рецептурної композиції та розробити технологію виготовлення десерту, збагаченого ГК та псилліумом, з детокс властивостями для людей із порушенням функцій опорно-рухового апарату; проаналізувати нутрієнтний склад, сенсорні показники розробленого десерту; дослідити реологічні властивості готового десерту; визначити терміни зберігання, враховуючи сенсорні та мікробіологічні показники нового десерту; розрахувати конкурентоздатність розробленого десерту.

Детокс властивості ГК досліджували шляхом визначення комплексоутворення з важкими металами. В ІЧ-спектроскопії використовували середню частину ІЧ-області, а саме, 4000-200 см$^{-1}$. При розшифровці ІЧ-спектрів використовували довідкові матеріали і мали на увазі, що в ІЧ-спектрах поліпептидів і білків виявляється декілька відносно сильних смуг поглинання, які, як правило, відносяться до коливань пептидної групи –CO-NH–, як загальному структурному компоненту білкових молекул.

Отримані дані (рис. 1) показали широку полосу поглинання в діапазоні 3200-3800 см$^{-1}$, що характерно для колагену і продуктів його гідролізу. Аналіз ІЧ-спектрів ГК показав наявність піку при 3500 см$^{-1}$, що свідчить про те, що ГК є продуктом гідролізу колагену (амід А), піки 1670,24 см$^{-1}$, 1550 см$^{-1}$ характеризують наявність аміду І та аміду ІІ. Наявність валентних коливань –С=І груп неіонізованих та іонізованих кислот характеризує смуга поглинання при 1620 см$^{-1}$.

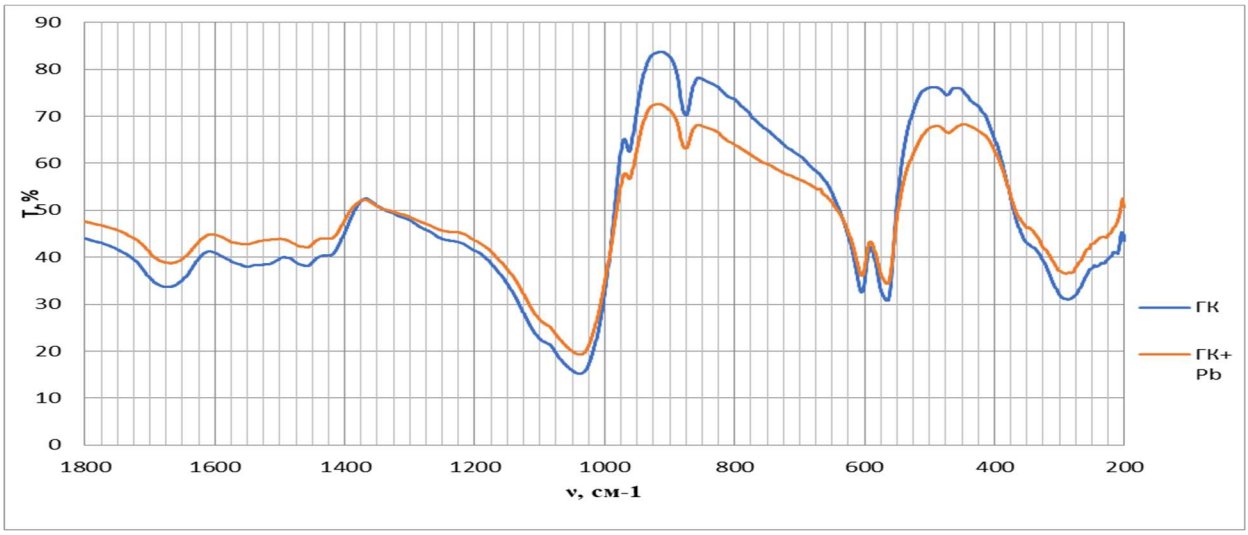


Рис. 1 - ІЧ-спектри нативного ГК та комплексу ГК з Pb

У спектрі ГК спостерігається інтенсивна широка смуга з максимумом поглинання при 3400 см$^{-1}$, яка зміщена в низькочастотну область у порівнянні з частотою вільних груп ОН–, що свідчить про наявність гідроксилів в системі водневих зв'язків. Відсутність смуги поглинання при 3650 см$^{-1}$ вказує, що

практично всі гідроксильні групи включені у водневий зв'язок. Щільність і міцність сітки водневих зв'язків досліджували за допомогою характерної смуги поглинання 3400 $см^{-1}$, яка відповідає валентним коливанням гідроксильних груп. Для цього визначали напівширину смуги за хвилевими числами досліджуваної ділянки спектру. Наявність піків в при 600 $см^{-1}$ та 1050 $см^{-1}$ характеризують валентні коливання структурного скелету молекули, зниження піків коливань у випадку комплексу ГК із свинцем свідчить про утворення комплексу.

Таким чином, дані аналізу отриманих ІЧ-спектрів свідчать про складну будову молекули ГК, а наявність вільних аміно- та карбоксильних груп обумовлює його здатність зв’язувати іони важких металів з утворенням нерозчинних комплексів та їх виведення з організму людини. Це дає можливість рекомендувати ГК у якості ефективного ентеросорбенту.

Наступним етапом роботи було проведення математичне проектування рецептурної композиції детокс-десерту. При проектуванні продукту зі складним сировинним складом враховано, що використання рослинної сировини, яка володіє високою біологічною цінністю дозволяє отримати композиції з покращеним нутрієнтним складом порівняно з окремо взятими компонентами. При математичному проектуванні композицій можливе більш тонке управління процесом формування споживчих властивостей продукту.

Оптимізували рецептуру детокс-десерту за допомогою математичного моделювання у табличному процесорі MS Excel, використовуючи надбудову «Пошук рішення», а також за допомогою пакету «Statistica 7.0». Результати були ідентичні. Критерієм оптимальності математичної моделі було обрано максимальний вміст білків. Задля регулювання рецептурного вмісту компонентів і окремих нутрієнтів нового продукту було встановлено певні обмеження та граничні значення. ГК і псилліум задавали у межах 1-5%, що забезпечуватиме необхідні реологічні властивості харчової системи. ГК є джерелом рідкісних амінокислот оксилізину та оксипроліну, відповідно при даних обмеженнях їх кількість варіюватиметься в межах – 0,15-0,2 г/100г. Ця

кількість забезпечить підвищення біологічної цінності проектованого продукту і її буде достатньо для формування сполучної тканини організму людини.

Псилліум є джерелом розчинних (75%) і нерозчинних (25%) харчових волокон і разом з ГК забезпечуватиме детоксикаційні властивості проектованого десерту. До того ж, згідно до запроваджених норм фізіологічних потреб населення України в основних харчових речовинах та енергії (Наказ МОЗ України від 03.09.2017 №1073) раціональне співвідношення білків:вуглеводів:жирів повинно складати 1:1:4.

Для розробки високобілкового детокс-десерту цільова функція виглядає наступним чином.

$$\boldsymbol{F(x) = (X_1 * a_1 + X_2 * a_1 + X_3 * a_1 + X_4 * a_1 + X_5 * a_1 + X_6 * a_1 + X_7 * a_1)/100 \rightarrow max}$$

Інформаційна матриця даних для математичного моделювання представлена у таблиці 1.

Таблиця 1- Інформаційна матриця даних для математичного моделювання десерту «Детокс смаколик»

Інгредієнти	Індекс, Xi	Вміст, г/100г				
		Білків, a_1	Жирів, a_2	Вуглеводів, 3	Розчинних харчових волокон, a_4	Нерозчинних харчових волокон, a_5
Банани	X_1	1,1	0,3	20,2	0	2,6
Сир кисломолочний	X_2	15	18	2,8	0	0
Гідролізат колагену (ГК)	X_3	70	0	0	0	0
Псилліум	X_4	0	0	75	75	25
Вершки 10%	X_5	2,7	10	4,4	0	0
Какао-порошок	X_6	24,3	15	10,2	43,5	0
Ванільний цукор	X_7	0	0	99,5	0	0

В результаті математичного моделювання було отримано рецептуру високобілкового детокс-десерту, у якому досягнуто максимального вмісту білка при виконанні всіх обмежень згідно із фізіологічними нормами, що і було цільовою функцією (табл. 2).

Таблиця 2 - Рецептура і норма використання сировини на виробництво високобілкового детокс десерту «Детокс смаколик»

Сировина	Брутто, г	Втрати, %	Нетто, г
Банани	75	40	45
Сир кисломолочний	35	20	28
Гідролізат колагену (ГК)	3,1	3	3
Псилліум	5,1	3	5
Вершки 10 %	41	10	37
Ванільний цукор	18	5	17
Всього, г/порцію	177,2		135

Дослідження споживчих властивостей детокс-десерту. Визначали нутрієнтний склад та задоволеність добової потреби у відповідних нутрієнтах у порції (135 г) та на 100 г розробленого десерту за допомогою довідників [403-406]. Результати подано у Таблиці 3.

Таблиця 3 -Нутрієнтний склад детокс-десерту «Детокс смаколик»

Назва нутрієнта		«Детокс смаколик» на порцію, г на 135 г	«Детокс смаколик» г на 100 г	Норма для чоловіків		Норма для жінок		Задоволеність добової потреби			
								порція, %		100г,%	
								Ч	Ж	Ч	Ж
Вода		36,67	36,67	1500	2000	1500	2000	2,5	1,8	2,5	1,8
Білок, г (всього)		8,18	6,06	80		63		10,2		9,6	
у т.ч. тваринні		7,68	5,69	39		32		19,7		17,8	
Жири, г		9,54	7,06	82		66		11,6		10,7	
Вуглеводи, у т.ч.		35,34	26,18	3600		313		9,8		8,4	
Моносахариди		31,59	23,40	320		280		9,9		8,4	
Складні		3,75	2,78	40		33		9,4		8,4	
Клітковина нерозчинна		2,42	1,79	10	15	10	15	24	16	18	12
Мінеральні речовини мг/100 г	Na	28,75	21,30	4000	6000	4000	6000	0,7	0,5	0,5	0,4
	K	194,70	144,22	2500	5000	2500	5000	7,8	3,9	5,8	2,9
	Ca	83,65	61,96	1200		1100		6,97		5,63	
	Mg	23,05	17,07	400		500		5,76		3,41	
	P	109,10	80,81	1200		1200		9,1		6,73	
	Zn	0,31	0,23	15		12		2,04		1,89	
	Cu	0,06	0,04	1		1		5,82		4,31	
	Mn	0,13	0,09	2		2		6,26		4,63	
	Fe	0,31	0,23	15		17		2,05		1,34	
Вітаміни, мг на 100 г	A	0,04	0,03	1		1		3,67		2,72	
	β-carotine	0,04	0,03	5	10	5	10	0,8	0,3	0,6	0,3
	B1	0,04	0,03	1,6		1,3		2,31		2,11	
	B2	0,16	0,12	2		1,6		8,14		7,54	
	E	0,26	0,19	15		15		1,7		1,26	
	PP	1,8	1,33	5		5		36		26,7	
	C	4,19	3,10	80		70		5,23		4,43	
Енергетичні ність	Kkal	265	196,44	2368	2720	2192	2582	11,2		8,96	
	кДж	1109,6	821,9	9908	11381	9171	10803	11,2		8,96	

Легкозасвоювані ХВ, що представлені псилліумом, забезпечують ситність десерту і насичення на декілька годин. Введення ГК до складу рецептури дозволяє збагатити готовий продукт оксилізином та оксипроліном, які відіграють головну роль в організмі людини при утворенні з'єднувальних волокон. Добова потреба у ХВ чи, так званих, баластних речовинах розробленим десертом досягається на 24% і 16% на порцію для чоловіків і жінок відповідно віком 40-59 років вагою 65-80 кг.

Кальцій є основним будівельним матеріалом для кісткової тканини [374], та при недостатньому його споживанні у людей старше 50 років може розвиватись таке захворювання як остеопороз та остеоартрит [374]. Саме тому нами було обрано у якості джерела кальцію кисломолочний сир, а для кращого його засвоєння необхідна наявність фосфору у співвідношенні Ca:P = 1:1(1,5) та магнію у співвідношенні Ca:Mg = 1:0,7 [374]. При розбалансі, коли менше фосфору, ніж кальцію, зростає вірогідність розвитку сечокам'яної хвороби, а якщо навпаки, фосфору надмірна кількість, то кальцій виводиться з кісток організму людини [374]. Співвідношення кальцію і фосфору в одній порції десерту «Детокс смаколик» складає 1:1,3, а співвідношення кальцію до магнію 1:0,3. Співвідношення білків до жирів та до вуглеводів складає 1:1,2:4,3. Десерт «Детокс смаколик» рекомендується для профілактики і як допоміжний фактор при лікуванні таких захворюваннь як остеоартрит, остеоартроз, остеопороз, а також для ефективної детоксикації організму, що забезпечується харчовими волокнами псилліуму і ГК.

Була проведена дегустаційна оцінка розробленого зразка десерту «Детокс смаколик». У дегустації приймало участь 11 дегустаторів одразу після приготування. За 1 було визначено найгіршою оцінкою, 5 – найкращою. У таблиці 4 наведено характеристику сенсорних показників зразка.

Таблиця 4 - Сенсорні показники десертів

Назва показника	Характеристика
Зовнішній вигляд	Суфлеподібна маса білого із кремовим відтінком кольором, може бути прикрашена часточками банану.
Консистенція	Однорідна, ніжна, в міру щільна. Допускається наявність часточок псилліуму, колагенового гідролізату та м'якої сирної крупки.
Колір	Білий з кремовим відтінком із вкрапленнями прозорого і коричневого кольору.
Смак та запах	Характерний кисломолочний, в міру солодкий, з присмаком банану. Допускається відчутність часточок псилліуму.

Дослідження реологічних властивостей детокс-десерту. Оскільки детокс-десерт розроблено для сфери ресторанного господарства і час подачі солодких страв становить 15 хвилин після замовлення, стало необхідним визначити умови, за яких буде досягнуто необхідної консистенції, в рамках цього інтервалу, з урахуванням часу (3-5 хвилин), котрий витрачається на підготовчі операції. Дослідження плинності десерту за допомогою консистометра Боствіка проводили при температурах 5, 15, 25 °С протягом 20 хвилин, вимірювання проводили з кроком у 2 хвилини. Отримані дані наведена на рис. 2.

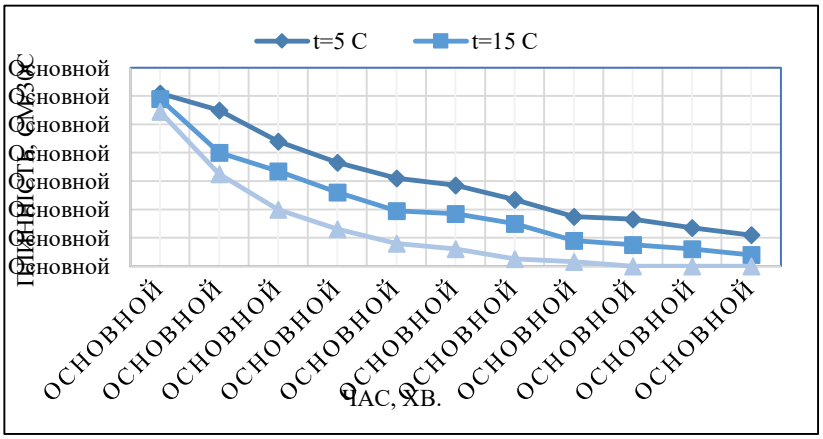
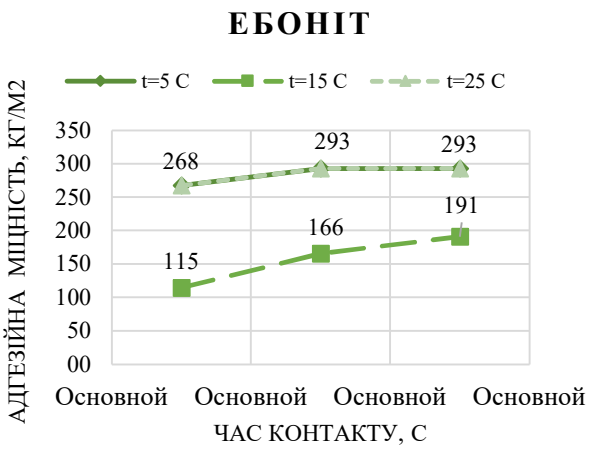


Рис. 2- Плинність десерту «Детокс смаколик» в залежності від часу при різних температурах

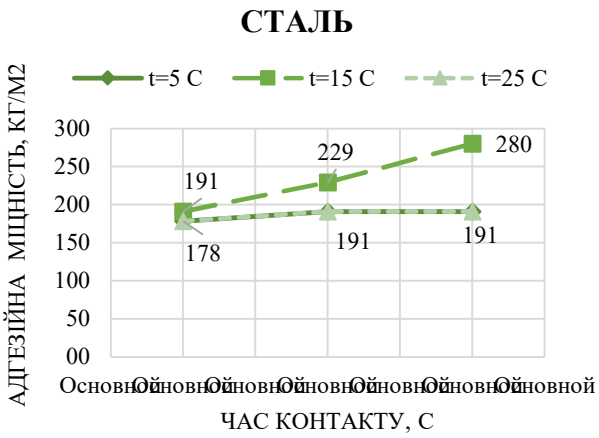
Згідно до рис. 2 детокс-десерт набуває потрібної консистенції при витримуванні десерту за температури t=25 °С. Вже на 12 хвилині десерт був готовий до вживання, при t=15 °С – на 20 хвилині, а зі зниженням температури до t=5 °С потрібної консистенції не було навіть на 20 хвилині. Чим нижча

температура витримування, тим довше проходитиме процес набухання псилліуму та ГК, тому час утворення потрібної структури збільшується.

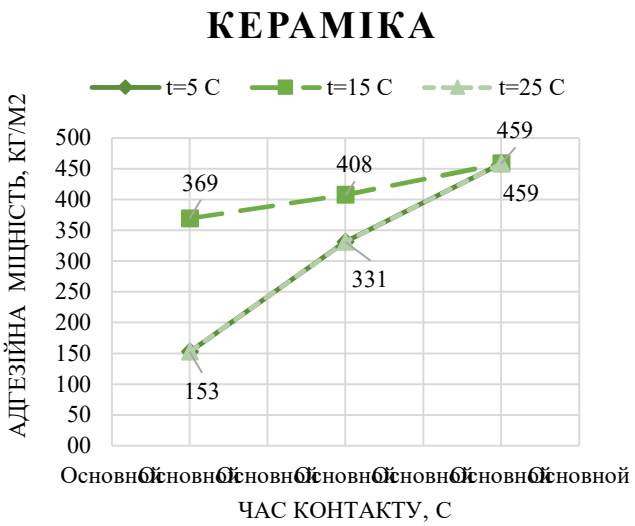
Для визначення часу, зменшення втрат при виготовленні десерту було досліджено адгезійну міцність готового десерту в залежності від матеріалу, з яким він контактує, а також часу контакту. Для цього використовували наступні матеріали: ебонітову, сталеву та керамічну пластини масою по 50 г, діаметром 0,1 м. Тривалість контакту обрали наступну: 5, 15 і 25 с при температурах 5, 15 і 25 °С. Результати наведено на рис. 3.



А)



Б)



В)

Рис. 3 - Адгезійна міцність десерту в залежності від матеріалу та часу контакту:

а) ебонітова пластина;

б) сталева пластина;

в) керамічна пластина.

Аналіз даних (рис. 3) показав, що найбільш адгезійно міцні зв'язки розробленого десерту утворюються за температури 15 °С при контакті з керамічною пластиною, найменш адгезійно міцні зв'язки – при контакті з ебонітовою пластиною. Тобто, найкращим матеріалом для виробництва детокс-десерту, з яким при виробництві будуть найменші втрати, є ебоніт, але оскільки устаткування з ебоніту є дуже дорогим, то, враховуючи дані досліджень, обрали харчову сталь. Використання кераміки призведе до значних втрат сировини, що суттєво відобразиться на собівартості. З цією ж метою потрібно зменшити час контакту продукту із матеріалом обладнання при виробництва до 5 хвилин.

Сучасний ритм життя вимагає мінімальних затрат часу для виготовлення їжі при цьому має на меті максимально зберегти нативний вітамінно-мінеральний склад харчової сировини. Тому технологія виготовлення високобілкового детокс-десерту «Детокс смаколик» є наступною. Беруть інгредієнти у відповідних рецептурних кількостях (табл. 2). Сир кисломолочний протирають через сито. ГК, какао-порошок і ванільний цукор просіюють. Банани миють, очищують від шкірки, нарізають на шматочки довільної форми. Всі компоненти змішують і перебивають у блендері до однорідної консистенції. Одержану масу виливають у креманку, витримують при температурі (15±2)°С протягом 7-10 хвилин. Вихід порції складає 135 г. Характерну для десерту консистенцію забезпечують псилліум та ГК, крім цього вони виконують функцію детоксикантів.

Дослідження показників мікробіологічної безпеки та сенсорних показників (рис. 4) в процесі зберігання проводили протягом 8 годин з моменту виготовлення десерту в умовах холодильника при температурі (5±2)°С.

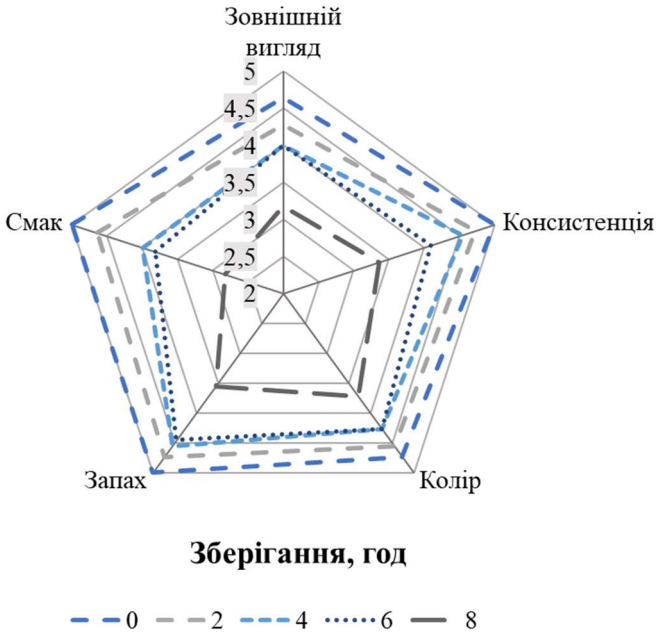


Рис. 4 – Сенсорні показники детокс десерту «Детокс смаколик» протягом зберігання

Згідно до отриманих даних рекомендований термін придатності до вживання десерту складає 6 годин. При чому на 8 годину зберігання спостерігається різке погіршення сенсорних показників, а мікробіологічні показники не змінюються.

Висновки і перспективи подальших досліджень. Дослідження детокс властивостей за допомогою ІЧ-спектроскопії показало здатність ГК до комплексоутворення з важкими металами, що дозволяє рекомендувати його в якості ефективного ентеросорбенту. Оскільки утворились стійкі комплекси, що яскраво відобразилось на смугах поглинання.

За допомогою математичного моделювання було одержано рецептурну композицію детокс-десерту «Детокс смаколик», яка включає (г на порцію 135 г): банан – 45 г; сир кисломолочний – 30 г; ГК – 3 г; псилліум – 5 г; вершки 10% - 40 мл; ванільний цукор – 20 г. Також розроблено технологію виготовлення десерту. Аналіз нутрієнтного складу нового десерту показав: раціональне співвідношення білків до жирів і до вуглеводів, що склало 1:1,2:4,2; правильне

співвідношення кальцію до фосфору (1:1,3), що сприяє кращому засвоєнню першого. Десерт був розроблений для чоловіків та жінок віком 40-59 років із масою тіла 65-80 кг, тому визначали задоволеність десертом саме добової потреби цієї категорії населення, виходячи з їх енергетичних та вітамінно-мінеральних потреб. В результаті визначили, що задоволеність добової потреби у білках тваринного походження та жирах задовольняється на 17,8% та 10,7% відповідно, у нерозчинній клітковині та вітаміні РР – на 24%, 26,7% та 16% , 39% відповідно для чоловіків та жінок. Підвищений вміст харчових волокон досягається за рахунок псилліуму.

Дослідження реологічних властивостей десерту дали можливість визначити параметри (t і час) виготовлення і зберігання десерту, з урахуванням, що на його приготування і відпускання повинно витрачатись максимум 15 хвилин. Тому оптимальною температурою для виготовлення десерту встановили (15±2) °С, при нижчих температурах термін набухання псилліуму та ГК збільшується, не впливаючи на показники якості готового продукту, а при вищій температурі швидко зростає адгезійна міцність і зменшується плинність, утворюється плівка на поверхні десерту, що погіршує сенсорні показники.

Дослідження сенсорних і мікробіологічних показників десерту в процесі зберігання дало можливість рекомендувати його до вживання протягом перших 6 годин при температурі (4±2) °С, оскільки при нормальних мікробіологічних показниках сенсорні погіршуються.

DOI 10.46299/ISG.2021.MONO.TECH.II-484-503

6.9 Наукові аспекти використання уронатних полісахаридів у технології харчової продукції

На сьогоднішній день відомо, що глюкуронова кислота володіє широким спектром властивостей та фізіологічних особливостей, спрямованих в тому числі і на детоксикуючий ефект. Суттєвим є вивчення і природних речовин, до складу яких входить глюкуронова кислота: ксантан, гліциризин, гіалуронова кислота, з метою реалізації їх фізико-технологічних властивостей у складі композиційних гідрогелей, як основи широкого спектру продуктів для здоров'я людини (продукти харчування, фармацевтичні, лікарські, косметичні засоби).

Широкий спектр виробництва харчової продукції базується на модифікаціях якісного та варіаціях кількісного складу готового продукту. Адаптація технологій харчової продукції до сучасного обладнання та існуючих потреб споживачів вимагає поглибленого наукового вивчення, оскільки процеси недостатньо обґрунтовані.

На сьогоднішній день у світі досить ефективно застосовуються уронатні полісахариди. Ці важливі природні комплекси використовуються як для харчових, так і для технічних цілей. Значного практичного значення дані сполуки набувають завдяки біологічній активності та використанню як детоксикаторів іонів важких металів.

Тому, розуміння характеристик рослинної сировини, яка містить уронові кислоти, аналіз щодо об’єктивного вибору видів уронатних полісахаридів для промислової переробки, його фізико-хімічних властивостей сприяють ефективному практичному значенню координаційної взаємодії таких комплексів із подальшим проявом їх технологічного та фізіологічного ефектів.

Властивості уронових кислот у складі низько- та високомолекулярних сполук

Глюкуронова кислота належить до уронових кислот, що утворюється в організмі з глюкози при окисленні її первинної спиртової групи. Одноосновна. D-глюкуронова кислота входить до складу кислих мукополісахаридів, деяких бактеріальних полісахаридів, тритерпенових сапонінів, геміцелюлози і камеді. Вільна глюкуронова кислота в невеликих кількостях знайдена в крові і сечі. У вигляді парних сполук глюкуронової кислоти (глюкуронідів) з сечею виводяться деякі продукти обміну речовин, в тому числі отруйні (фенол, крезол), і багато лікарських речовин. Перетворення глюкуронової кислоти у всіх тварин, крім мавпи і морської свинки, а також людини, ведуть до біосинтезу аскорбінової кислоти. У фізіологічних рідинах і тканинах тварин (особливо в печінці, нирках, селезінці, а також злоякісних пухлинах), в бактеріальних і рослинних тканинах міститься фермент β-глюкуронідаза, який каталізує гідроліз β-глюкуронідів на вільної глюкуронової кислоти і відповідного аглікону [407].

Функціональні групи для іонного зв'язування (-COOH) і для міжмолекулярної взаємодії (-OH) з іншими учасниками технологічного середовища та шлунково-кишкового тракту відображаються структурній схемі глюкуронової кислоти (рис. 1).

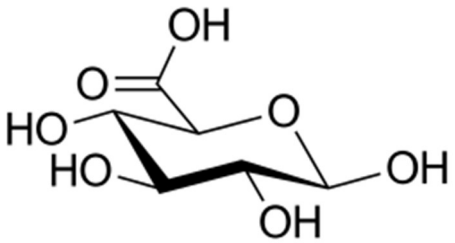


Рис. 1. Будова глюкуронової кислоти

Глюкуронова кислота зосереджена в невеликих кількостях у людському організмі, де відбувається її утворення при окисленні D-глюкози. Нормальна її концентрація в крові становить 0,02-0,08 ммоль/л. До складу слизу, слини, міжклітинного матриксу, гликокаліксу входить, зокрема глюкуронова кислота.

Вона є також одним із ключових компонентів пігментного обміну в печінці.

Властивості глюкуронової кислоти в певним чином збігаються з властивостями глюкози, проте завдяки наявності карбоксильної групи, з’являється можливість утворення солей та лактонів. За нагрівання відбувається дегідратацію і декарбоксилювання глюкуронової кислоти.

Важливою для організму людини функцією глюкуронової кислоти є її здатність утворювати розчинні кон'югати (глюкуроніди) зі спиртами, фенолами, карбоновими кислотами, тіолами, амінами та низкою інших речовин. За рахунок цього вона набула статусу потужного детокс-агенту, що також здатний до лояльного виведення з організму продуктів біотрансформації.

Уронові кислоти входять до складу ряду низько- та високомолекулярних сполук, що широко використовуються як в технологічному процесі виробництва харчової продукції, так і в косметичній та фармацевтичній галузях.

Одними з таких є гліциризин (харчова добавка Е958) або гліциризинова кислота (GA), що широко використовується як підсолоджувач та підсилювач смаку та аромату. Гліциризин солодший за сахарозу в 50-100 разів. Його також застосовують як піноутворювач під час виробництва халви. Одним з найважливіших похідних GA є її моноаммонійна сіль GC.

Хімічна будова гліциризину представлена на рис 2.

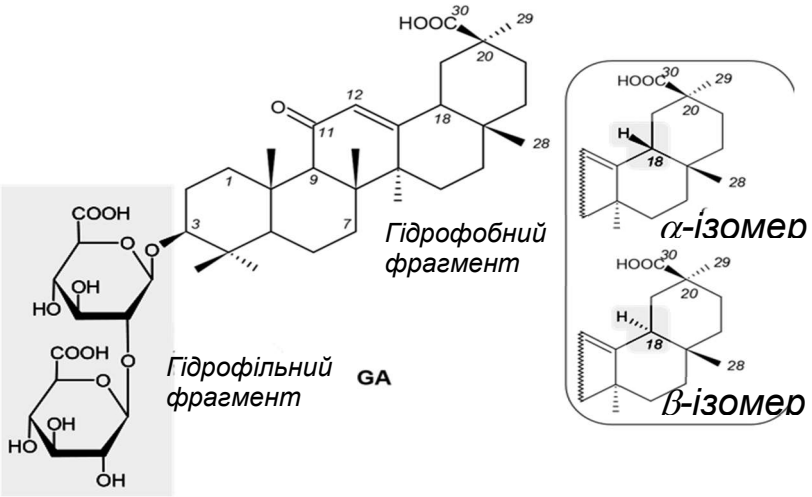


Рис. 2 Хімічна будова гліциризину

Як видно з рис. 2 у структурі GA розрізняють гідрофобний фрагмент, що відповідає агліконному залишку, і гідрофільну частину, яку утворює дисахаридний фрагмент. При цьому, наявність карбоксильної груп в кільці аглікона і в термінальному залишку дисахаридного фрагмента вуглеводного ланцюга обумовлює здатність GA до утворення різних самоасоціатів, які набувають стабільності за рахунок утворення водневих зв'язків [408].

Характерною особливістю GA і її солей є здатність до утворення міцел. Міцелоутворення GA залежить від складу середовища та її кислотності. Предміцелярні форми утворені двома і більше молекулами GA.

Таким чином, GA належить до амфіфільних полідентатних лігандів, здатних до молекулярного комплексоутворення як з полярними, так і неполярними фрагментами молекул інших речовин. Для молекул GA характерне утворення циклічних асоціатів з внутрішньою гідрофобною порожниною, яку можуть займати різні співмірні молекули з метою створення комплексів типу «гість-господар» (рис.3) [409].

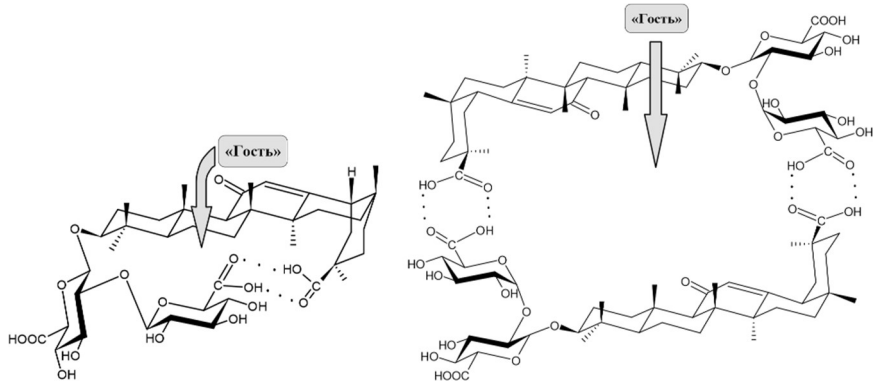


Рис 3 Структура асоціатів димерів гліциризину

Як видно з рис. 3, саме шляхом реалізації принципу "гість-хазяїн", у димері гліциризину і пояснюється детокс-ефект цієї речовини.

Ксантан – молекулярний полісахарид, основний ланцюг якого побудований аналогічно целюлозі (1-4-β-глікопіраноза), а бічний − представлений у вигляді трисахариду, який складається з β-D-манози, β-D-глюкуронової кислоти і α-D-

манози. Залишки глюкуронової кислоти і кислі піровиноградні групи надають молекулам ксантану аніонного характеру

Ксантан переважно застосовується в харчовій та косметичній промисловості як загусник та гелеутворювач.

Гідрогелі на його основі – це в'язкі розчини навіть при дуже низьких концентраціях. При збільшенні концентрації вони перетворюються на напівпрозорі аморфні речовини. Глікозидні зв'язки у структурі ксантану гідролізуються під впливом кислот і специфічних ферментів відділу кишечника.

Унікальні біологічні та реологічні властивості ксантану багато в чому визначаються впорядкованою будовою його ланцюгів в розчинах. Ксантан, як високомолекулярна сполука, має первинну, вторинну і вищу просторову структуру. Це обумовлено слабкими внутрішньомолекулярними взаємодіями, серед яких основну роль відіграють водневі зв'язки і вандерваальсові сили. Хімічна будова ксантану представлена на рис 4.

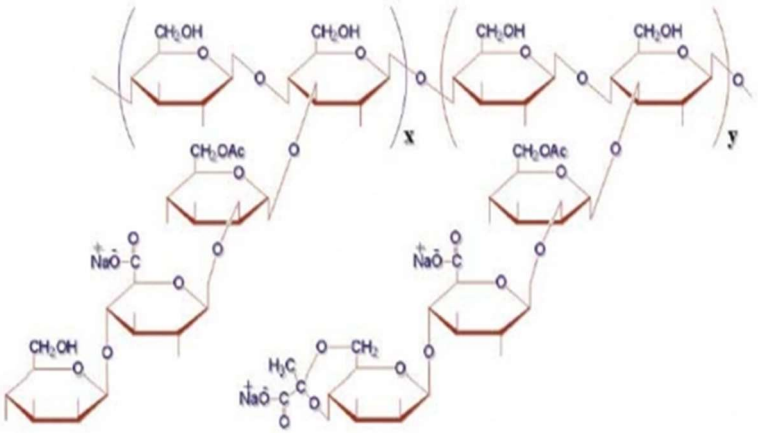


Рис. 4 Первинна структура мікробного екзополісахариду ксантану

Як видно з рис.4, просторова будова ксантану приховує частину функціональних груп глюкуронової кислоти, перешкоджає взаємодії з ксенобіотиками/лікарськими засобами/біологічно активними речовинами. Це зумовлює у ксантана відсутній детокс-ефект, принаймні у відділі шлунку. При потраплянні до відділів ШКТ за pH вище 7, третинна структура ксантану руйнується, бічні ланцюги розгортаються, відштовхуючись від основного

ланцюга під дією іонної сили розчинника (води), і надають можливості глюкуроновій кислоті утворити хімічний зв'язок з іншими речовинами. Такими у кишківнику є важкі метали, продукти напіврозпаду макронутрієнтів, радіонукліди, токсини.

Гіалуронова кислота − несульфатований глікозаміноглікан, нерозгалужений полісахарид, що складається з дісахаридних одиниць, утворених N-ацетил-D-глюкозаміном і D-глюкуроновою кислотою, які з'єднані між собою β-1,3- і β-1,4-глікозидними зв'язками (рис. 5) [410].

Гіалуронова кислота − це аніонний лінійний полісахарид з різною молекулярною масою 105-107 Да. Молекулярна маса залежить від способу одержання. При цьому, зважаючи на відсутність ізомерії, одержуваний гіалуронат завжди хімічно ідентичний стандартному.

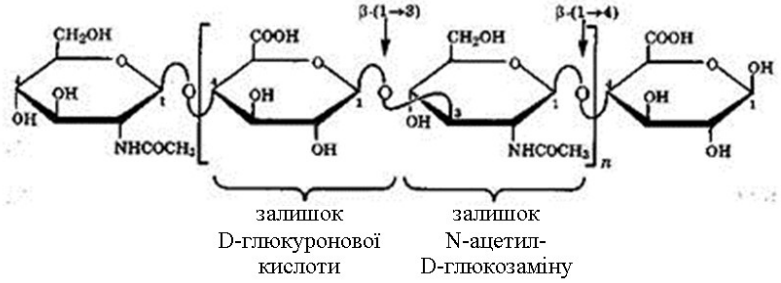


Рис. 5 Хімічна будова гіалуронової кислоти

Як видно з рисунку 5, молекулам гіалуронової кислоти притаманне утворення значної кількості водневих зв'язків, як зсередини молекули, так і між сусідніми вуглеводними залишками, які розміщуються дистанційно віддалено один від одного, а у водному розчині навіть між близько розташованими молекулами через карбоксильну та ацетамідну групу [411].

Розчини гіалуронової кислоти − це розчини полімерів із кислою реакцією середовища через наявність непротонованої карбоксильної групи. Кислотні властивості гіалуронатів дозволяють отримувати у водному середовищі розчинні солі з лужними металами.

Розчини гіалуронової кислоти у концентрації 1..4% утворюють псевдогелі, як і розчини ксантану.

Гідрогелі гіалуронової кислоти володіють унікальними реологічними властивостями в'язкопружного гелю навіть при низьких концентраціях. Методом світорозсіювання було встановлено, що в розчині макромолекула згорнута у катушку (спіраль). Ланцюг досить щільно упакований з радіусом вигину порядку 200 нм і малорухливий (з-за наявності внутриланцюгових водневих зв'язків).

Молекула гіалуронової кислоти у водному розчині є енергетично стабільною, зокрема завдяки стереохімії складових її дисахаридів. Об'ємні заміщувальні групи піранозного кільця стерично вигідно розташовані, тоді як менші за розміром атоми водню займають менш вигідні аксіальні позиції.

Так само, як і у випадку з ксантаном, за рахунок міжмолекулярних взаємодій довгі гнучкі молекули гіалуронової кислоти у водних розчинах здатні утворювати тривимірну структуру, подібну до щільного молекулярного «сита» − матрикса. При цьому дисперсний матрикс утворює канальці для селективної дифузії водорозчинних молекул. У макромолекулі регулярно повторюються гідрофобні області, що сприяють взаємодії з клітинними мембранами і білками гідрофобного типу. Така властивість розчинів гіалуронової кислоти має велике значення для забезпечення рухливості клітин. Гідрофільний дисперсний матрикс забезпечує умови протікання дифузійних процесів, необхідних для клітинного дихання.

Уронові кислоти входять також до складу полісахаридів, зокрема пектину та альгінатів. Їх властивості та подальше застосування обумовлене низкою визначальних факторів – походженням, хімічною будовою тощо.

Їх диференціювання відбувається залежно від природи, реакційних груп, молекулярної маси, активної концентрації, необхідної для гелеутворення.

Роль гідрогелевих уронових систем в організмі людини

На сьогоднішній день полімерні гідрогелі на основі композитів, до складу яких входит глюкуронова кислота, володіють рядом унікальних механічних,

фізико-хімічних та фізіологічних особливостей. Це зумовлює перспективність їх застосування у фармацевтиці, медицині та інших галузях.

Зокрема, використання гідрогелів на основі ксантану, гліциризину та гіалуронової кислоти, як лікарської форми, забезпечує пролонгування дії лікарської сполуки, адресну доставку до систем і органів-мішеней, а в деяких випадках і помітний синергетичний ефект дії препарату і фармакопейної основи. Крім того це призводить до зниження токсичності препаратів, їх побічних ефектів, зменшення їх дози при збереженні високої біологічної активності за рахунок вмісту гліциризину.

У випадку доставки біологічно активних речовин із високою реакційною здатністю у відділах шлунку, в якості іммобілізуючої для них матриці виступають структури ксантану та гіалуронової кислоти. В них глюкуронова кислота міжмолекулярними та водневими зв'язками утримує корисні молекулярні структури. При цьому, низькомолекулярні структури утримуються у міжмолекулярному просторі гліциризину та гіалуронової кислоти, а більш об'ємні молекули, утримуються за рахунок зв'язків з функціональними групами ксантану.

Гліциризинова кислота володіє здатністю до утворення асоціатів у розчинах. Це пояснюється значною кількістю оксигеновмісних полярних груп. Саме завдяки наявності цих груп гліциризинова кислота проявляє високу хімічну активність до зв'язування молекул, як лікарських так і токсичних сполук [412].

У першому випадку, лікарські засоби міжмолекулярними силами утримуються у матриці гідрогелю на основі гліциризину і тимчасово втрачають свою хімічну активність, далі, знаходячись в іммобілізованому стані, утворені інтактні сполуки дістаються до органів-мішеней і вивільняються у місцях їх всмоктування за рахунок руйнації полімерних молекул, що відбувається при переході pH у нейтрально-лужне середовище. У такий спосіб відбувається і доставка біологічно активних речовин з високим хімічним потенціалом у середовищі шлунку, але місцем всмоктування у кишківнику. Спосіб попередньої

іммобілізації глюкуроновою кислотою дозволяє зберегти молекулярні структури корисних речовин і у непошкодженому стані довести їх до місць засвоєння, завдяки чому у одній мікродозі мітиться достатня кількість біологічно активних речовин для покращення метаболізму в організмі людини.

За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я, гліциризинова кислота застосовується як заспокійливий засіб при лікуванні ангіни та відхаркувальний засіб при кашлы та катарі верхніх дихальних шляхів. Вона також відіграє вирішальну роль у профілактиці та лікуванні виразки шлунку та дванадцятипалої кишки, а також диспепсії. Як протизапальний засіб зменшує алергічні реакції та запобігає токсичності печінки [413].

Істотну роль комплекси гліциризнової кислоти відіграють як протипухлинні засоби. Авторами [414] встановлено суттєве пригнічення росту клітин раку легенів in vitro та у тканинах мишей.

Натуральні комплекси на основі гліциризинової кислоти вже понад 40 років широко використовуються в Японії при лікуванні захворювань печінки, зокрема хронічного гепатиту [415]. Відомою є практика застосування природних комплексів гліциризинової кислоти у лікуванні захворювань шкіри [416], зокрема псоріазу [417]

На користь гліциризинової кислоти та її антикоронавірусного потенціалу схиляються дослідники [418].

Препарати з гліциризиновою кислотою є безпечними та володіють гарним економічним профілем. За останні роки збільшується їх клінічне використання, зокрема при таких патологіях, як депресія [419], хвороба Паркінсона [420], а також ряду онкологічних захворювань [421].

Реологічні властивість ксантанової камеді є важливим фактором для розробки біоматеріалів, які можуть бути використані для поліпшення доставки ліків або інших корисних речовин у зони з низькою проникністю, інжектування гідрогелями для біомедичних застосувань, у тому числі і в тканинній інженерії.

Також відомим є застосування при цукровому діабеті, закрепах, сухості очей та багатьох інших патологічних станах [422].

Під час моделювання процесу травлення людини ксантанова камедь знижувала концентрацію глюкози, не впливаючи негативно на товщину травної рідини [423]. Автори [424] відмічають широке застосування ксантану як замінника слини при ксеростомії. Дослідниками [425] встановлено полегшення перебігу дисфагії – розладів, що викликають труднощі з ковтанням, при вживанні ксантану.

Серед деяких рекомендацій при лікуванні ожиріння, зустрічаються препарати ксантану, як такого, що викликає відчуття насиченості та знижує апетит [426].

Ксантанова камедь широко використовується з метою утворення захисного бар’єру над зубами та таким чином блокуючи атаки кислоти з продуктів харчування на зубну емаль, попереджаючи її руйнування [427].

Загальновідомо, що гіалуронова кислота бере участь у контролі таких процесів, як репаративна регенерація тканин, клітинне диференціювання, морфогенез, ангіогенез і запалення. Важливість участі гіалуронової кислоти у цих процесах ґрунтується на її феномені, що реалізується під час створювання гідрогелів. Якщо питання стосується міжклітинного матриксу, то гіалуронова кислота набухає з утворенням каркасних гелевих структур і підтримує клітини. Оскільки гіалуронова кислота це єдиний глікозаміноглікан, який не утворює ковалентного зв'язку з білковим кором (тобто не існує протеоглікану гіалуронової кислоти), то у водних розчинах реалізується можливість концентрувати навколо себе інші глікозаміноглікани з утворенням агрегатів протеогліканів, що володіють значно більшою гідрофільністю та еластичністю порівняно з подібними структурами, але у вільному стані. У зв'язку з цим стає зрозумілим феномен гіалуронової кислоти, що пов'язаний із властивістю зв'язування колагенових волокон, інших білків, компонентів міжклітинного матриксу між собою та клітин у єдину систему. У такий спосіб гіалуронова

кислота створює «буферний об'єм», який визначає міцність і пружність механічних тканин, допомагає їм долати тимчасові навантаження [428].

Гіалуронова кислота сприяє зниженню негативного впливу на шкіру ультрафіолетового проміння, тютюнового диму та навколишнього середовища [429]. Вживання від 120 до 240 мг гіалуронової кислоти в день протягом місяця сприяє підвищенню рівня зволоженості шкіри та сповільнює процеси старіння [430].

Гіалуронова кислота також відіграє ключову роль у процесі загоєння ран. В нормальному стані вона присутня у шкірі, та її концентрація підвищується при ураженні та потребі у відновленні. Вона сприяє більш швидкому загоєнню ран заживати, регулюючи рівень запалення і подаючи сигнал організму до побудови більшої кількості судин у пошкодженій області [431].

Гіалуронова кислота також має антибактеріальні властивості, тому може допомогти зменшити ризик зараження при безпосередньому нанесенні на відкриті рани [432].

Автори [433] відзначають ефективність дії гіалуронової кислоти у боротьбі із захворюваннями ясен, прискоренні загоєння після оперативного втручання та усуненні виразок при місцевому застосуванні у ротовій порожнині.

Пектин виконує суттєву роль у стабілізації обміну речовин, знижує вміст холестерину в організмі, покращує периферичний кровообіг, а також перистальтику кишечнику. Значна цінність пектинів полягає у їх сорбційній здатності, тобто можливості зв'язувати і виводити з організму холестерин, радіонукліди, важкі метали (свинець, ртуть, стронцій, кадмій і ін.) і канцерогенні речовини. Пектини сприяють загоєнню слизової оболонки кишечника при її пошкодженні. До складу нормальної мікрофлори кишечника входить кілька сотень видів бактерій. Частина з них засвоюється поживні речовини за допомогою біохімічних процесів гниття і бродіння. Пектини пригнічують життєдіяльність цих мікроорганізмів, що сприяє нормалізації складу кишкової мікрофлори. [434].

Важливо відмітити суттєве значення вживання продукції, до складу якої входять пектинові уронові кислоти в профілактиці ожиріння:

- знижують час надходження їжі в ШКТ;
- викликають відчуттся насичення, як результат пригнічення апетиту та допомогають запобігти переїданню;
- сприяють зниженню калорійності їжі;
- знижують в жировій тканині синтез жирів завдяки впливу на вуглеводний та жировий обмін.

Альгінати володіють антипухлинною активністю, а також сприяють зниженню апетиту, допомагають запобігти переїданню, широко застосовуються при лікуванні надмірної ваги та ожиріння, сприяють зниженню кількості ліпідів і холестерину в крові, засвоєнню поживних речовин, виведенню важкі металів і радіонуклідів

Солі альгінової кислоти нешкідливі для організму, володіють антимікробними властивостями, підтримують основну здорову мікрофлору кишечника і пригнічують діяльність хвороботворних бактерій, надають обволікаючу дію.

Альгінатні уронові кислоти також мають комплексоутворюючу здатність, зв'язучи і безпечно виводячи з організму важкі метали, токсичні і радіоактивні речовини, утворюючи з ними комплекси [435].

Дослідження принципів утворення гідрогелів на основі уронатних полісахаридів

На сьогодні квантово-хімічне моделювання дозволило пояснити принципи утворення гідрогелів на основі уронатних полісахаридів та розробити матриці для іммобілізації біологічно активних речовин з метою зниження їх реакційної здатності у середовищі шлунку та поліпшення процесів всмоктування у відділі тонкого кишечника [436].

На рис. 1.6, 1.7, 1.8 та 1.9 наведено поетапну реалізація хімічного потенціалу глюкуронової кислоти (рис. 6), як у складі гліциризину (рис. 7), так і складі ксантану (рис. 8) і гіалуронової кислоти (рис. 9).

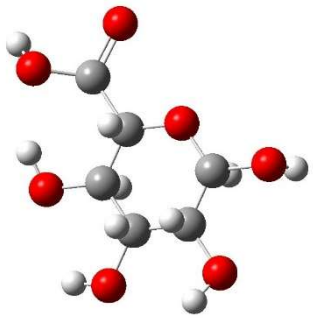


Рис. 6 Квантово-хімічна модель глюкуронової кислоти

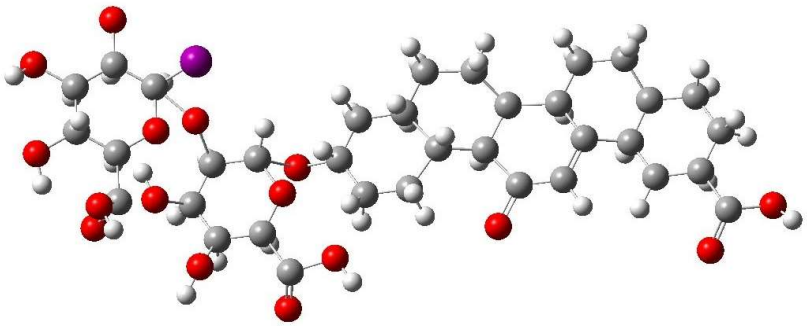


Рис. 7 Квантово-хімічна модель гліциризину

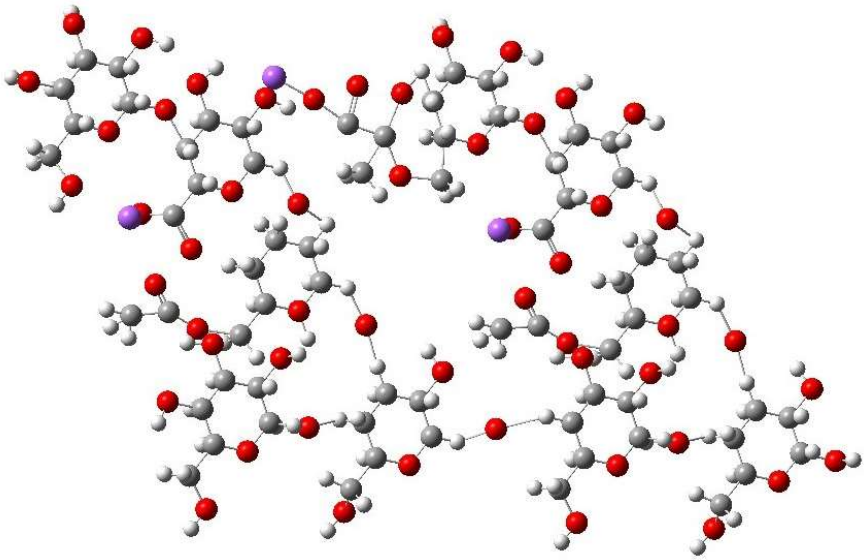


Рис. 8 Квантово-хімічна модель димеру ксантана

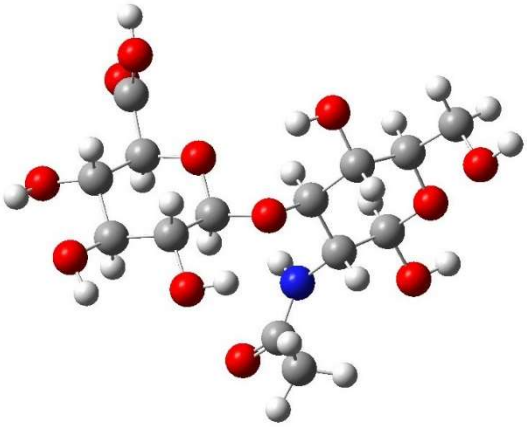


Рис. 9 Мономер гіалуронової кислоти

З рис. 6, 7, 8 та 9 видно точки зшивання низько- та високомлекулярних сполук під впливом іонної сили розчинника і в присутності ініціаторів кросс-сополімеризації: біологічно активних речовин з високим хімічним потенціалом та /або лікарських препаратів. За результатами аналізу моделей також було визначено кількість місць реалізації водневого та вандерваальсового зв'язків для кожної структури. Кількість таких міст та просторове розташування дозволяє прогнозувати утворення "ніш" та можливість їх заповнення біологічно активними речовинами та/або лікарськими препаратами з метою зниження їх реакційної здатності у відділах шлунку та збереження хімічного потенціалу до місць їх повного засвоєння - тонкого кишечника.

У наш час значної популярності набуває вивчення полісахаридних композицій на основі альгінату натрію і пектину з іншими полісахаридами. Більш детальне визначення особливостей структур молекулярних комплексів, що реалізовано в системі «уронатні полісахариди – Ca^{2+}» можливе за допомогою методу квантово-хімічного моделювання.

Квантово-хімічне моделювання – це спосіб одержання електронної енергії молекули і її хвильової функції, що не залежить від розміру і структури макромолекули.

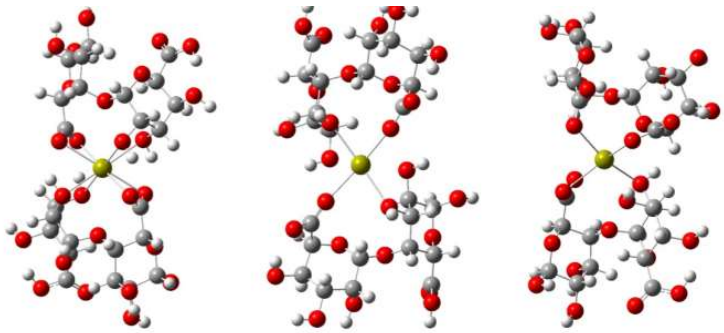
Перед початком побудови квантово-хімічної моделі необхідно врахувати три її визначальні фактори, а саме: здійснити підбір складових математичної моделі, провести процедуру рішення і обрати атомний базис. Тем самим задать спосіб одержання електронної енергії і хвильової функції [437].

Зокрема, авторами [438] було змодельовано процес іонотропного гелеутворення в системах уронатних полісахаридів (альгінату натрію високогулуронатного і пектину низькоетерефікованого) з кальцієм.

Розрахунок взаємодії активних функціональних груп уронатних полісахаридів з іоном кальцію показує можливість проходження даного процесу з утворенням хелатних комплексів кальцій-гулуронатного ($CaGul_4$), кальцій-галактуронатного ($CaGal_4$) і кальцій-гулуронат-галактуронатного ($CaGul_2Gal_2$).

Процес взаємодії здійснюється за рахунок хімічного зв'язування карбоксильних і гідроксильних груп уронатних полісахаридів з іоном кальцію. Встановлено, що кальцій-гулуронатний комплекс має вісім центрів зв'язування з кальцієм, а комплекси кальцій-галактуронатний і кальцій-гулуронат-галактуронатний мають по чотири центру зв'язування.

На підставі цього були одержані квантово-хімічні моделі $CaGal_4$, $CaGul_4$, $CaGul_2Gal_2$, що представлені на рисунку 10 а-в.



а *б* *в*

Рис. 10 Моделі стійких кальцій-уронатних систем: а – кальцій тетрагулуронат ($CaGul_4$); б – кальцій тетрагалактуронат ($CaGal_4$); в - кальций дигулуронатдигалактуронат ($CaGul_2Gal_2$)

Наведені зображення підтверджують унікальність рішення рівняння Шредингера для заданной конфігурації ядер, електронного і спинового стану молекули. Таке рішенння є максимально наближеним до комплексів альгінат-пектин-кальцієвих. Крім цього представлені модели прийнятні до систем більшого розміру, що враховують також довільні молекулярні структури.

В табл. 1 наведено геометричні параметри хелатних комплексів системи «уронатні полісахариди – Ca^{2+}», виділені з Z-матриць для оптимізованих молекул *$CaGal_4$*, *$CaGul_4$*, *$CaGul_2Gal_2$*. В подальшому за допомогою теорії функціоналу густини в наближенні B3LYP з подальшими модифікаціями: M06, M062X було вивчено особливості конформаційних перетворень комплексів уронатних полісахаридів із кальцієм.

Як геометричні параметри було розглянуто довжину зв'язків, торсійні кути, валентні кути.

Таблиця 1. Геометричні параметри хелатних комплексів системи «уронатні полісахариди – Ca^{2+}»

			Комплекс							
			$CaGul_4$				$CaGal_4$		$CaGul_2Gal_2$	
			n	d	n	d	n	d	n	d
Довжина зв'язку $Ca\text{-}O_n$, Å			12	2.54038	53	2.54156	30	2.46918	38	2.53946
			78	2.52733	37	2.52801	12	2.42611	8	2.49132
			79	2.49019	38	2.49077	72	2.46897	55	2.48009
			49	2.48383	8	2.48322	54	2.42532	75	2.43800
Торсійні кути, ^{0}	φ	$H_{76} – C_{65} – O_{50} – C_{43}$	-61.15840				46.61303		-101.31086	
		$H_{35} – C_{24} – O_9 – C_2$	-61.15783				46.63952		-52.91515	
	ψ	$H_{52} – C_{43} – O_{50} – C_{65}$	22.59891				20.04796		-6.15302	
		$H_{11} – C_2 – O_9 – C_{24}$	22.59878				19.94151		15.11548	
Валентні кути, ^{0}	$O_{12} – Ca – O_{37}$		114.60009				76.79737		76.07383	
	$O_8 – Ca – O_{38}$		115.46188				76.77659		106.73409	
	$O_{78} – Ca – O_{53}$		114.58527				-		-	
	$O_{79} – Ca – O_{49}$		115.44966				-		-	
	$O_{49} – Ca – O_{38}$		94.79095				99.95322		85.60411	
	$O_{54} – Ca – O_{37}$		92.60015				99.70507		99.93691	
	$O_{78} – Ca – O_{12}$		92.63874				-		-	
	$O_{79} – Ca – O_8$		94.79806				-		-	

Говорячи про побудову макромолекулярних структур, зокрема уронатних полісахаридів, варто відмітити, що в таблиці 1.1 наглядно представлені характеристики комплексів: дожини координаційних зв’язкыв іону кальцію з полісахаридами, торсійні і валентні кути.

Принципово важливим для розуміння хімізму процесів іонотропного гелеутворення в системах таких полісахаридів, як пектин низькоетерифікований амідований і альгінат натрію високогулуронатний, а також їх композиції, є просторове розташування безлічі атомів у даних системах; величина і розташування довжин зв'язків; значення торсіонних і валентних кутів.

Все це в сукупності, дозволяє оцінити хімічну активність фрагментів структур макромолекул у разі протікання хімічних процесів іонотропного гелеутворення; дає можливість спрогнозувати кількість зовнішньозв’язаної води, розрахувати оптимальні співвідношення речовин для складання раціональних рецептур харчових продуктів.

На підставі отриманих моделей і їх геометричних характеристик було встановлено факт протікання процесу іонотропного гелеутворення в комбінованій системі «альгінат-пектин-Са». В цьому випадку, утворився хелатний комплекс $CaGul_2Gal_2$, стійкий в ході зберігання, більш пластичний і м'який на відміну від $CaGul_4$ і міцніший на відміну від $CaGal_4$.

Перспективи використання уронатних полісахаридів та їх комплексів у технології харчових продуктів

Гелі на основі уронатних полісахаридів володіють низкою цінних технологічних властивостей, у зв’язку з чим і користуються значним попитом у різних галузях харчової промисловості.

Широкого застосування набули дані системи в технології десертної продукції, зокрема в технології солодких страв із використанням капсульованих продуктів з пробіотичними мікроорганізмами [439]. Попередньо активовані біфідобактерії Bifidobacterium lactis BB 12 були поміщені у капсулу з кислотостійкою оболонкою на основі альгінату натрію, що дозволило отримати

напівфабрикат «Продукт капсульований з пробіотичними мікроорганізмами», який дозволяє уникнути небажаних втрат пробіотичних мікроорганізмів під час їх споживання в складі харчових продуктів. На підставі цього були розроблені рецептурний склад і принципові технологічні схеми виробництва мусу яблучного на крупі манній, самбуку яблучного, крему ванільного з напівфабрикатом «Продукт капсульований з пробіотичними мікроорганізмами», що виявили високі показники безпеки та органолептичної привабливості і можуть бути рекомендовані в оздоровчо-профілактичному харчуванні [440].

Було розроблене желе плодово-ягідне на основі напівфабрикатів желюючих [441], реалізуючи метод іонотропного гелеутворення в системі низькоетерифікованого пектину та іонів Ca^{2+}. Продукція представлена желе плодово-ягідним «ПіК» (апельсиновий, вишневий та лимонний) – на основі сухих концентратів соків, «ПіК Преміум» (апельсиновий, вишневий та лимонний) – на основі рідких концентратів соків, «ПіК Преміум Фреш» (апельсиновий, вишневий та лимонний) – на основі натуральної плодово-ягідної сировини.

На основі трифакторної системи «альгінат натрію-пробіотичні організми-цитрусові плоди» було запропоновано функціональний харчовий продукт із високою концентрацією вітамінів та антиоксидантів цитрусових плодів, із радіопротекторними властивостями альгінату натрію та імуностимулюючою функцією, завдяки вмісту пробіотичних мікроорганізмів, що регулюють роботу шлунково-кишкового тракту людини [442].

З урахуванням тенденцій щодо раціоналізації технології та складу шоколадних мас відповідно до потреби споживачів, було вдосконалено технологію шоколадних виробів на основі молочного шоколаду шляхом збагачення шоколадних виробів білковим гідролізатом та сумішами уронатних полісахаридів (альгінату натрію та низькоетерифікованого амідованого пектину) [443]. Збагачувальні компоненти - це гелеподібні покриття, які перетворюються на тонкі плівки, які біологічно розкладаються в організмі людини під дією

корисних кишкових бактерій. Це дозволяє отримувати продукти у плівковому покритті з заданими органолептичними властивостями.

Такий підхід дозволяє відкрити нові властивості готової продукції, поліпшити її органолептичні властивості, продовжити термін зберігання та зменшити кількість пластику, що використовується під час пакування.

Гелі харчові плівкоутворюючі на основі уронатних полісахаридів (альгінату натрію, нізькоетерифікованого амідованого пектину та ксантану) представляють собою перспективний матеріал для використання у як харчові покриття, в тому числі глазурі. Це стало підґрунтям для створення глазурей із гідрогелів на основі уронатних полісахаридів та технології печива галетного «Марія» у плівкоподібній оболонці із заданими фізичними та структурно-механічними характеристиками [444].

Досить актуальним є можливість використання гелів харчових плівкоутворюючих на основі суміші уронатних полісахаридів (альгінату натрію та пектину) у складі снекової продукції, зокрема оболонок для рибних закусок [445].

Такий технологічний підхід дає можливість подовжити термін зберігання даних харчових продуктів, а також підвищити їх харчову цінність. Уронатні полісахариди володіють здатністю до зв’язування важких металів, виведення токсинів, відновлення складу мікрофлори товстого кишечнику та дозволяють впровадити технологію виробництва рибних закусок (паличок) без використання штучних оболонок, замінивши їх плівками на основі уронатних полісахаридів, що володіють гарними пребіотичними властивостями та запобігають накопиченню патогенних мікроорганізмів.

З метою підвищення харчової цінності м’ясної снекової продукції було запропоновано покращення складу маринадів на основі розчину уронатних полісахаридів маслом амаранту і сумішей для ін’єктування - гідролизатом протеїну амаранту [446]. Це дозволяє отримувати м'ясні системи зі стабільними структурними і механічними характеристиками.

Таким чином, сполуки, до складу яких входить глюкуронова кислота, ксантан, гліциризин, гіалуронова кислота, володіють широким спектром фізико-технологічних властивостей у складі композиційних гідрогелів. Вони також є основною для створення продуктів для здоров'я людини (продукти харчування, фармацевтичні, лікарські, косметичні засоби).

Виначення координаційної взаємодії таких комплексів глюкуронових кислот сприяє об’єктивному вибору видів уронатних полісахаридів для промислової переробки з урахуванням їх фізико-хімічних властивостей.

SECTION 7. HISTORY

DOI 10.46299/ISG.2021.MONO.TECH.II-504-511

7.1 Жилая и общественная архитектура степной и лесостепной зон восточной Европы в эпоху энеолита

К концу предшествующей энеолиту эпохи камня в Восточной Европе сформировались следующие типы сооружений:

– поселения – малые, кроме Закарпатья (где больше, до 3-х га), с несколькими жилищами у рек, речек, ручьев, болот, на островках в руслах рек, без защитных сооружений [447, с.111–113, 567, 581, 591, 598; 448, с.162];

– жилища сезонные (шалаши) и долговременные (полуземлянки и землянки округлых и овальных планов, наземные под прямоугольных и прямоугольных планов, одно-двухкамерные, столбчато-каркасные и стоечно-балочные с двухскатными крышами, с открытыми очагами или купольными печами) [447, с.90, 581, 586, 598, 603, 604; 448,с.192–195];

– могильники грунтовые с индивидуальными и родовыми захоронениями на расстоянии от поселений в 0,7–10 км [447, с.97, 545, 553; 448, с.214–217];

– места отправления культов – межплеменные центра – в естественных пещерах с наскальными рисунками [449, с.31–32; 447, с.150–152, 658, 659; 450, с.74].

Период энеолита, или медного века, продолжался приблизительно 2000 лет (IV – нач. II тыс. до н.э.). Это время переселения людских масс и культур в основных направлениях запад – восток, восток – запад и юг – север, что давало сильные импульсы для общечеловеческого прогресса. В энеолите происходили очень сложные процессы становления и развития строительного дела. Начиная с энеолита, местные особенности ярко выражены и зависели от следующих факторов: антропологического типа, который является восприемником предшествующего опыта строительства, способа хозяйствования и территориально-климотического своеобразия.

Земледельческие племена имели стабильное развитие во всех областях строительной деятельности, которых основным способом было кочевое скотоводство, развивали только отдельные виды сооружений [447, с.189–352; 448, с.187–258, 721 ;451, с.190,638,662,699,704].

Одной из основных общностей энеолита – Триполья–Кукутени, от названия сел Триполье, в 50 км к юго–западу от Киева, и Кукутени, в Придунайской Румынии около г. Яссы. Территория жизнедеятельность которой простиралась от Юго-Восточного Прикарпатья до Днепра (Румыния, Молдова, Украина). Хронология Триполья – Кукутени: раннее – 4000 – 3600 гг. до н.э.; среднее - 3600-3150 гг. до н.э.; позднее - 3150-2350 гг. до н.э. [447,с.254,701] Первоначальными носителями прогрессивных строительных традиций трипольцев были пришельцы из Юго-Восточной Европы, из Балкано-Дунайского региона, – прафракийцы и праиллирийцы. Их занятие – оседлое земледелие и приусадебное скотоводство. Синхронно с трипольской на крайнем юго-западе существовала также земледельческая культура Гумельницы (по названию с. Гумельница в Придунайской Румынии). Трипольская и гумельницкая общности имели общие корни происхождения. Достижения в области строительства тех и других были намного выше, чем у местного населения. Поэтому весьма заметно их влияние на строительную деятельность племен Степи и Лесостепи в IV—II тыс. до н.э., а также на последующие времена [447,с.189,709; 448,с.237; 451с.253].

Так, поселение у с. Петрены – на плато в междуречье Прута и Днестра, характерное для позднетрипольских поселений Правобережной Украины и Молдовы. Площадь его составляла 30 га, без укреплений, имело круговую планировку и застраивалось по плану от центра к внешнему краю. Здесь было около 500 жилищ (в основном 8*5 м и несколько крупных 14\16*6\7 м), в которых могло проживать 4 тыс. человек [451,с.192,662]. Для строительной практики Европы от Восточной Германии до Подонья и от северных берегов Балтики и Голландии до восточноевропейской степи (в т.ч. Закарпатье, Волынь) в IV—II тыс. до н.э. размещение поселений характерно на высоких берегах рек,

а планировка – по типам, которые сложились ранее. Для Карпат размещение поселений характерно на южных склонах гор на границе с равниной, по берегам рек, речек, потоков, болот [447,с.269,719; 451,с.258].

Второй значительной общностью энеолита со второй половины IV до второй четверти III тыс. до н.э. была скотоводческая среднестоговская, которая переняла строительные навыки местных неолитических племен Днепро-Донецкого региона и неолита Крыма и Северного Кавказа. Название этой общности принято по урочищу Средний Стог на территории современного

г. Запорожье. Считается, что появление среднестоговцев – это первое проникновение в Европу степной курганной культуры. Поселений их известно около 100, они располагались на низких надпойменных террасах рек, могильники устраивались вблизи поселений либо непосредственно на поселениях [447,с.305–307,756,757;448с.275].

Начиная с XXV в. до н.э., на основе среднестоговской образовалась, а затем сменила её, ямная культура (название по способу захоронения), которая существовала до XIX в. до н.э. в степной и лесостепной зонах Восточной Европы: от междуречья Южного Буга и Днестра до Оренбургской области (Россия) и от Самарской Луки на Волге (Россия) до р.Терек (Северный Кавказ) и Азовского моря. Поселений ямников мало, они – двух типов: сезонные для пастухов и большие родоплеменные центры, которые постепенно увеличивались и укреплялись. Одно из них – у с.Михайловка Нововоронцовского района Херсонской области, на правом берегу р.Подпильная при впадении ее в Днепр. Сначала оно занимало площадь 1500 кв. м. (0,15 га), а к концу существования - 1,5 га. Расположенное на двух холмах и на плато, поселение на последнем этапе было укреплено системой рвов и каменных стен, возведенных из местного известняка в один или два ряда, из небольших камней разных размеров, без обработки, с «перевязкой швов», камни закреплялись земляным раствором (кладка «на грязи»). Эта система укреплений – одна из выдающихся в мировой практике строительства периода сер. III – сер. II тыс. до н.э. и одна из первых сложных фортификационных систем мира. Необходимость в возведении

оборонительных систем впервые возникла в среднем Триполье (сер. IV тыс. до н.э.), дальнейшее развитие происходило в позднем Триполье (кон. IV - посл. треть III тыс. до н.э.) и в ямной культуре (XXV–XIX в.в. до н.э.). Фортификационные сооружения данного периода иногда носили весьма сложный и хитроумный характер, как например, у с.Михайловка. Такого же типа поселение у с.Скеля-Каменоломня около г.Днипро [447,с.325,773,776,786].

С сер. III тыс. до XIII в. до н.э. в степях Юго-Восточной Европы от Таманского полуострова до низовий Южного Буга и Днепра, от Крымских гор до границ с Лесостепью обитали скотоводческо-земледельческие племена Кеми-Оба. Их поселения – чаще всего неукрепленные на речных террасах, реже – на морском берегу [447,с.332,782].

Характер типов жилищ трипольцев Днестровско-Прутского междуречья (Правобережная Украина и Молдова): прямоугольные очень вытянутые в плане дома со стенами из плетеной лозы с глиняной обмазкой площадью 150 – 200

кв. м. (на несколько семей) и высотой помещений в 2,5 м, внутри делились перегородками. Крыши – двухскатные на столбах. Потолочные перекрытия выкладывались из горбылей, уложенных плоской стороной вниз, и обмазывались сверху несколькими слоями смеси из глины с растительными примесями, толщиной 4 см каждый. В каждом из помещений имелся сводчатый очаг. Нижние части стен, глиняный пол и круглые или крестообразные в плане жертвенники (иногда в углах помещений) подвергались тщательному обжигу. Оконные проемы выполнялись круглыми, верхняя часть дверных – арочного полуциркульного очертания. Фасады белились, после чего красились желтой и красной красками. В Усатово (около Одессы) под стены выкладывались каменные ленточные фундаменты [447,с.233,683,685,688–693; 448,с.255; 451,с.214, 662,663,666; 452,с.64,511; 453,с.150,597].

Основной тип жилищ степняков всегда, начиная с эпохи энеолита – колесные повозки (зимой сани), запряженные вьючными животными: возы и четырех – или шестиколесные, довольно сложной конструкции (стандартной), достигая в длину 2,0 м, в ширину – 1,5 м, имели разъемные борта, на которые

устанавливалась арочное плетеное перекрытие из лозы с войлочным покрытием [448, с. 329; 452, с. 150, 597; 453, с. 64, 511].

В Нижнем Поднепровье с конца III тыс. до н.э. в строительстве оседлых племен начала применяться кладка из колотого камня с перевязкой швов на глиняном растворе для устройства фундаментов глинобитных жилищ, возведения стен и оград [451,с.214,663,666].

Культовыми поклонениями энеолита были Солнце, Огонь, Плодородие (земледелие, женщина-мать и мужская сила в образе быка), Змей Летящий, Небесный Олень (у охотников) и др. – от древнейших цивилизаций Малой Азии, Ближнего Востока и Балкан. Со Среднего Триполья местом отправления культов были обычные жилища, в которых устраивались жертвенники, иногда строились специальные сооружения. Например, у с. Коломыйщина-II Киевской области два здания длиной 27–30 м и шириной 6–7 м и одно из пяти камер служили для отправления культов. В Крыму святилища связаны с курганами, а для усатовской локальной группы позднего Триполья характерны культовые ямы при могильниках [447, с.249, 707– 709; 448, с.354, 806].

У кочевого населения энеолита культовые и погребальные сооружения объединены в образе курганов [448, с.360; 454, с.213].

В позднем Триполье возрастает производство в различных отраслях хозяйства, развиваются ремёсла, появляются целые производственные комплексы: металлургическая циркупонтийная провинция – 2 очага – Усатовский под Одессой и Софиевский на Среднем Днепре; комплекс керамического производства в Верхнем Попрутье у с. Жванец, где за границей городища – двухъярусные гончарные печи, и место замеса глины; печи состояли в 3 ряда по уклону плато, имели подковообразную и прямоугольную в плане форму, и на Волыни за границами поселений размещались небольшие мастерские по обработке камня. В Крыму была четкая специализация по литью металла и обработке камня [447,с.207, 654, 672; 448, с.277, 724; 451, с.194, 642, 657].

Сооружения захоронений энеолита можно разделить на три основных вида: типа Мариупольского могильника (для трипольских, гумельницких сообществ, кроме усатовской локальной группы, в некоторых местах на Волыни, Подолье и Закарпатье, а также и для среднестоговских сообществ); грунтовые захоронения в каменных гробницах (лесостепная часть Правобережья); подкурганные (крайний юго-запад Украины, Крым). У ямников были – курганные, грунтовые плоские захоронения и каменные закладки (ящики). Только в Верхнем Поднестровье в связи с культом предков умерших хоронили под жильем. В этом районе часто встречались захоронения одного и того же периода и в курганах, и в грунте. Впервые курганы появились в усатовской локальной группе позднего Триполья (с. Усатово, с. Маяки Одесской области). В с. Усатово имеются две курганные группы: одна из 20 насыпей на площади 2,6 га, другая – из 10. На курганах устанавливались двойные кромлехи. Ямные захоронения осуществлялись в прямоугольных ямах, слегка закругленных по краям. Столь разные способы захоронений вызваны сложным этническим составом населения. Под курганные сооружения – ямы овального или прямоугольного плана, каменные ящики, погребальные камеры. Курганные насыпи имели высоту до 1,5 м и диаметр 10-15 м. Но со временем, когда под существующими курганами стали хоронить опять, размеры их увеличились: высота – до 5 м, диаметр оснований – до 30 м. Это, так называемые, «впускные» курганы. Впервые они появились в Крыму (сер. III тыс. – XVII в. до н.э.). Каменные гробницы имели 5 различных конструкций: 1) – дольмен; 2) – каменная гробница с небольшими пристройками («сенями»); 3) – в виде каменного ящика без боковых пристроек; 4) – цельного прямоугольного в плане ящика (0,8х1,7кв. м.), высотой 0,6 – 0,9м; 5) – ящика овальной формы из вертикальных плит, перекрытых горизонтальной плитой или большим камнем [447,с.287,734,780,782;448с.352,805-809;451,с.223,708,709].

Следует особо отметить применение полихромной росписи на стенах каменных саркофагов в пределах обитания кеми-обинцев. Это монументальная роспись черной, красной и белой красками. Рисунок, составленный из линейно-

геометрических элементов: треугольников, ёлочек, полос, точек, ромбов, квадратов, кругов и т.д., – первоначально протирался или высекался, а затем заполнялся красками. В Крыму наблюдается сочетание всех цветов, в других местах – обычно только охра. Известностью пользуются изображения родовых и солярных знаков, а также боевых сцен, выполненных красной охрой на скалах в урочище Таш-Аир около Бахчисарая. Антропоморфные каменные плиты, стелы и статуи кеми-обинцев столь же выразительны. Они являются первыми на территории Украины монументальными каменными скульптурами [447,с.334; 448с.359].

Итак, к концу энеолита в степной и лесостепной зонах Восточной Европы сложились следующие типы сооружений.

Поселения у земледельческого населения: – малые, без оборонных сооружений у водных пространств, – на водоразделах – средние и гиганты, укрепленные рвами и валами (впервые); планировка трех типов: – линейная (вдоль русел рек), – круговая (впервые); – кучная по родственно-хозяйственным связям (впервые). Оборонные сооружения: – у земледельцев: рвы, земляные валы (впервые).

Поселения у номадов: – малые, без оборонных сооружений, у водных пространств – средние, укрепленные рвами и каменными стенами (впервые) – все с бессистемной планировкой.

Жилища: – 1) наземные прямоугольных планов, одно-двухъярусные (впервые), глинобитные (впервые), с глиняными или каменными печами (впервые), в большинстве двухкамерные (впервые), с двухскатными крышами, с высокой степенью благоустройства (впервые); – 2) шатры на повозках у номадов (впервые).

Производственные постройки – вне жилых зон (впервые).

Культовые постройки – типа жилых у земледельцев (впервые); – курганы у кочевников (впервые).

Сооружения захоронений: – курганы с грунтовыми ямами, каменными и деревянными гробницами (впервые) на грунтовых могильниках, – каменные гробницы (впервые).

Таким образом, в энеолите получили развитие фортификационные сооружения, сооружения производственных комплексов и курганы. Начиная с энеолита, курганы возводились в последующее время в течение 3000 лет различными племенами Степи и стали ее характерной особенностью на долгие столетия. В юго-восточных степях получило развитие искусство монументальной полихромной росписи. В это время сложились типы жилищ и их конструкции, а также практика применения строительных материалов, которые существовали, как основные, до эпохи Старокняжьей Руси.

SECTION 8. INNOVATIVE TECHNOLOGIES

DOI 10.46299/ISG.2021.MONO.TECH.II-512-518

8.1 Modificator contrrust as anticorrosion innovative tool for technological progress end-environmental protection

Experience and research in the long-term operation of metal products show that the most important factor in protecting and preventing corrosion is the reliable and correct preparation of metal surfaces for painting. It is easier and more reliable to prevent the corrosion process than to stop and repair the affected parts and products. Applying innovations, research and development with the appropriate support of government and society can benefit the economy and the environment.

The study of the types of corrosion and the processes that are tested at the beginning and during the corosion of metals to find reliable reagents for damping corrosion micro sources and create a reliable film (protective layer) on the surface before painting under which it is impossible to start corrosion under the protective layer. Saving metal-based objects through the effective use of innovative technologies is a very important issue, but equally important is the creation of conditions and the support for innovation activity that creates innovation.

Many studies of corrosion processes and the arrangement of protective coatings are known. There are also many substances for cleaning surfaces, inhibitors, sprays, impurities, etc. Ecologically safe, effective means of plant origin are not presented. There is already a patented CONTRRUST converter Patent No. (11) 61544, by L. Vysotska. But the technology of its application and market promotion is still quite slow Several monographs and dozens of articles have been published on the topic of the use of the CONTRRUST ecomodifier by authors (Savenko VI, Vashenko VM, Vysotska LM, Plugin AA, Mashkov OA, Kushchenko IV , Korolev VP, Zhuravsky OD, Korotiev AM, Kyslyuk D.Ya., Maksimov S.Yu., Polosenko OV, Klyueva VV and many others), many reports were made at international conferences, the work was marked by many awards, certificates, but as noted in the works of another plan (Shkvorets YF, Ron Hubbard, Kalyta PY, Savenko VI, Prigogine AI, etc.) it is very important that Rennes favorable conditions

and support innovation by the government and society, while the invention and innovation are the driving force of progress.

Promotion of the CONTRRUST rust converter and the spread of new technologies for protection of metals from corrosion in an environmentally friendly way, a way of preventing the start of corrosion processes with subsequent protective surface painting. Advanced science, high technology, education and staff development and the creation of the genome of business and spiritual excellence can ensure the company leadership in production and society. Currently the losses from corrosion in industrialized countries reach up to 3-5per cent from the national income. It mainly concerns metallurgic and chemical enterprises, oil and gas pipelines, and floatinq crafts, which elements and structures operate in a highly corrosive environment. The inner surface of cargo compartments, liquid ballast tanks, fuel supplies, pipelines and other structures are subject to severe corrosion under the influence of seawater and oil products with a high level of sulfur.The carcass of reinforced concrete structures is of great significance since it takes in the pulling stress from the external load, providing the stability of the construction. Therefore, carcass corrosion is inadmissible. It leads to destructing the adhesion between the concrete and carcass, cracking and delaminating the protective concrete layer; moreover, it results in pre-stress losses in pre-stressed elements,which causes the destruction of buildings and structures.The total damage of corrosion sums up to billions of dollars because of

emergencies and ecological disasters.It is quite difficult to calculate all the losses from standstills and production decline of the equipment that is subject to corrosion, the disruption of technological processes, accidents caused by the stability decrease of metal structures, the environment pollution, payment of insurance benefits, and, finally, lethal outcomes. The presence of oxygen and water on the surface of iron products results in creating iron oxides and hydroxides, which in everyday life is called rust. Rust ends up in water mostly in the form of colloidal particles, but there can alsobe bigger particles (incrustations) – an oxide mixture. The corrosion of water lines leads to the biological contamination of water, which poses a potential threat to our health.The Committee of Maritime security imposed a new requirement on the availability of corrosion protection

systems in source water tanks, which are the most effective methods in any defect repair during the operation process examination. A rust modifier "Contrrust"has been invented by specialists and the PC "Ruslan and Lyudmila" authoring team. It has been developed as the main preventive tool for surfaces that are damaged by rust; it penetrates into the metal shell on a molecular level, blocks the rust within it,protects the surface from further rusting processes without damaging its structure."Contrust" is a universal, ecologically sound, plant-based anti-rust agent that al-Lows us to eliminate corrosion during the construction, and operation process of metal constructions. The whole range of redox reactions results in creating a black with blue shimmer metal polymer foil with the thickness of 30-50 um, the adhesion.of 1 point (ISO 4618:2014) and impact index 50 cm (ISO 8501 – 1) on the surface of the deoxidized metal.The transformative technology of "Contrust" with an average thickness of rust within 300um results in 100 per cent of purity."Contrrust" – an ultimate protection against corrosion. "CONTRRUST " - rust modifier, protective primer of high efficiency, non-toxic , environmentally safe. One component.The main components which make up the "Contrrust" are: tanning extracts, succinic, citric, oxalic acid and other food acids, water. Fabricated in three modifications: a) liquid; b) viscous substance; c) powder

Does not contain any toxic elements such as lead or zinc chromate, phosphate acid, safe for human life and health during its manufacture and use.

Not flammable. Easy to use. Can be used in hardly-accessed areas of any configuration. Replaces corrosion removal, and serves as the primer layer . Replaces interim working primer. Positive effect on the welding . Restores and protects surface. Should be applied to tenacious layer of iron scale. Has good diffusion. Blocks centers of corrosion in metal shells. Dries quickly. No need to too wash off the surface.

Converts rust of 100-300 microns thick into protective anticorrosive film -primer, which blocks the surface from repeated corrosion over time.

Product consumption: 40-80 ml/m^2.Economic effect reaches 60%.

- CONTRRUST blocks corrosion centers in metal surface holes, dries quickly, doesn't need washing down thereof from a metal surface, quickens a technological process

of metal surface coating and increases terms of exploitation of exploitation of metal constructions without decreasing a normative exploitation in different environments according to the requirements of ISO 12994. Provides with a reliable adhesion strength relative to lacquer and insulation coatings;

- “Contrrust” substitutes sandblast, mechanical surface cleaning (local places, welding seams are cleaned), it is recommended for processing of rust damaged surfaces metal constructions and in cases when mechanical or sandblast cleaning is complicated or economically inexpedient;

Drying within 20-30 min. Under normal conditions, it forms dark-blue or black layer which is complicated ferric/ferric acid organic compounding, which provides with anti-corrosion protection. Protective layer may be used as a primer under different lacquer and insulation materials;

- The application of rust converter "Contrrust" allowed is surface painting 3rd - 4th level of cleaning from oxides with application of technological schemes of surface preparation 19, 23, 24 Table 4, under GOST 9.402-80 . If the technological process requires a preparation of a surface for SA 2,5 and other, the rust converter "Contrrust" is applied to blocking the corrosion centers which appear due to oxygen and moisture joining.

- Increasing the life of the coated system by 2-4 times (in closed spaces - in 6-9 times), and even longer – for other types of coatings;

- Reduction of labor costs, the cost and timing of metal- construction works by 50-70%;

- Complete safety and ease of use in any way (by brush, roller or spray, syringe, etc.) - use without respirators and expensive arsenal of tools and accessories;

- Indispensable in the treatment of metal structures of particularly complex configuration (from seaport facilities to underground and above ground pipelines);

- Blocks and suppresses hidden deep corrosion - due to high diffusivity and organic components;

- Surface quality is maintained for many months (in an enclosed space - more than a year!) - With the normative requirements of GOST of Ukraine 9.402-80 only "24 hours ".

"Contrrust" is used at any time of the year for the treatment of steel pipes, cable sheath, roofs, reinforcing mesh, nodes pairing, tanks , reservoirs, pipelines, metal structures in mines, power plants and at nuclear power plants in the service station, ship repair and building, railway works, underground constructions, food processing equipment, to detect corrosion cells in pressure vessels and structures of special products, in particular stainless, as well as micro-cracks and pitting during the manufacture of steel materials for special purposes and in many sectors of the economy, in closed inaccessible spaces on stationary and moving civilian and military objects (bulkhead ballast tanks, holds, submarines, tankers, tanks, armored vehicles, tanks for drinking water and food storage, vehicles, on the valve of sandwich panels, ventilated facades, walls and new type roofings, etc.).

Can be used to isolation of steel and concrete structures in accordance with the requirements of EN 1504-7 “Products and systems for the protection and repair of concrete structures - Definitions, requirements, quality control and evaluation of conformity - Part 7: Reinforcement corrosion protection”.

Before applying the "Contrrust" the surface needs to be cleaned from grease, dirt, ill keep paints, primers, isolation. Formation and loose rust is to be removed with a metal brush, and wiped with a damp cloth.

"Contrrust" is applied to dry or wet surface with a continuous uniform layer without streaks in any convenient way: brush, roller, means towels, airless spray, etc.

After applying the rust converter it does NOT need to be rinsed or cleaned, and after drying the coating can be directly applied in accordance with needed coating requirements.

For example:When repairing a vehicle (body, bottom and in other accessible places) use a metal brush to clean the surface and an emery paper to polish the surface , thus, the surface should remain only with the "noble" rust, that is "red rust" Passages and channels in the hardly available spaces are to be cleaned by any sharp tool (a thin knife , etc.). Fatty place should be degreased. Other dismounted parts of the car (caliper, metal disk, etc.) should be heated to +16+35 ºC (heat from sun shown might be enough) and treated with "Contrrust".

Having assured that the surface is dried up and no rust spots remain on the surface (and if there are still present – should be treated with rust-converter locally – the primer should be applied (sealer, insulation), in hardly accessible places - should be splashed inside. For the treatment of the inner surface of the car through the hole thresholds introduce a rubber tube to the end of the threshold, pour a rust converter, gradually pulling the tube out.

At negative temperatures, the process of applying rust-converter is recommended to be supported by adding alcohol or warming the surface itself.

The warranty period for the «Contrust» protection applied according to the manufacturer's instructions is no less than the warranty period of the paint coating that will be applied on the surface after treatment with «Contrrust» (including coatings that can withstand temperatures above 300 º C) In all cases, we recommend using coatings or paint after treatment by «Contrrust».

"CONTRRUST" modification "B" (powder, which can be prepared under extreme conditions for modification "A") allows elimination of point and gap corrosion in the course of metalwork.

The economic effect of using rust modifier on different objects, structures, and metal structures is currently over UAH 62 million. including:

Kyiv, str. Solomianskaya 2a, customer - Court of Appeal, designer - CJSC "GIPROtsivilprombud" - economic effect - 30,0 million UAH;

PJSC «PVI-ZIT Oil and Gas» as a contractor for Kutaisi-Abasha (Georgia) gas pipeline - UAH 10.2 million, Lviv Bobrivka - UAH 0.743 million, Brest (Belarus) - UAH 0.739 million;Lukoil - Karpatnaftochim Company - UAH 6.41 million;Kharkiv, Sumy market - contractor of LLC Spetsstroymontazh - Ukraine - UAH 5.8 million and other.

At the present stage, from the experience of previous years, success can only be achieved with government support in the form of creating favorable conditions for the activities of organizations.

CONCLUSIONS

1. On the basis of basic researches of corrosion mechanisms (including under the protective coating), methods of estimation of a condition and forecasting of corrosion

resistance of metal-containing structures and possible terms of their failure and possible ways of prolongation of service life were created and implemented.

2. The newest technology of preparation of the corroded surface with the use of the CONTRRUST rust modifier (hi-tech technology), which currently has no naturaly analogues, is proposed and introduced in the industry.

3. On the basis of the conducted researches the rational technology of surface preparation at drawing various types of paints and varnishes on metal structures of different technological purpose is developed.

4. Designs of coating systems for corrosion protection of oil and gas pipelines, valuable metal equipment, machines and other metal products are proposed. Studies and tests have shown that the proposed coating systems meet the required regulatory requirements to ensure long-term corrosion protection of metal products and can have great prospects, first of all, for the repair of existing facilities.

5. Methods for diagnostics, assessment and monitoring of the condition of metal structures and products developed and implemented at the state level (DSTU).

6. The overall economic impact of the implementation of the work is over UAH 62 million. including: Kyiv, str. Solomenska 2a, customer - Court of Appeal, economic impact - UAH 30.0 million; at Kutaisi-Abash gas pipelines (Georgia) - UAH 10.2 million, Lviv-Bobrivka - UAH 0.743 million, Brest (Belarus) - UAH 0.739 million, Karpatnaftokhim - UAH 6.41 million; Kharkiv, Sumy market – UAH 5.8 million; Temple, Kyiv, Michurina str. 64 - 981 thousand UAH, objects of the defense complex of Ukraine, including Zhytomyr BTZ, Shepetivska RE, Mykolayiv BP, and others.

7. Success can only be achieved with government support in the form of creating favorable conditions for the activities of organizations. The future leading position of any company, also a production one, is determined by the ability of leaders and all personnel to master high technology innovations, to generate and quickly implement their inventions and discoveries.

DOI 10.46299/ISG.2021.MONO.TECH.II-519-524

8.2 Использование промышленных отходов в строительной индустрии эффективный способ сбережения природных ресурсов

Согласно последним данным экологов, Украина лидирует в Европе по количеству накопления отходов. Показатели образования и накопления отходов в Украине свидетельствуют об угрожающей экологической ситуации в государстве. По данным Министерства экологии и природных ресурсов Украины, в нашей стране накоплено около 35-36 млрд. тонн отходов, которые приблизительно занимают 7% территории. Из этих 35-36 млрд. тонн около 2,6 млрд. тонн являются высокотоксичными отходами. Стоит отметить, что на каждого Украинца сейчас приходится более 750 тонн отходов. Ежегодно в Украине образуется от 670 до 770 млн. тонн, при этом утилизируется лишь 30% промышленных и 4% бытовых отходов [468-472].

Промышленные отходы и бытовые отходы являются одними из наиболее весомых факторов загрязнения окружающей среды и негативного влияния фактически на все его компоненты. Инфильтрация хранилищ захоронения бытовых и техногенных промышленных отходов, горения терриконов, пылеобразования, другие факторы, обусловливающие миграцию токсичных веществ, приводят к загрязнению подземных и поверхностных вод, ухудшение состояния атмосферного воздуха, земельных ресурсов и т.д. [473-476].

Будущие перспективы развития предприятий промышленности строительных материалов находятся на стадии коренной переоценки в связи с острым дефицитом энергетических ресурсов. Для решения проблем по снижению себестоимости конечной продукции строительства и сокращению расходов сырья, топливно-энергетических и других ресурсов, особая роль отводится расширению использования, как промышленных отходов, так и бытовых [477-479].

Проблемам образования и рационального использования отходов, как составляющей ресурсосбережения и экологизации производства, посвящено много научных работ. Однако недостаточность исследований данной проблематики, вызывает ряд проблем в сфере использования промышленных и

твердых бытовых отходов (ТБО) и обусловливает необходимость дальнейших исследований в этом направлении.

В "Лаборатории ресурсосберегающих технологий и специальных бетонов" Винницкого национального технического университета (ВНТУ) проводятся исследования по комплексной переработке фосфогипсових отходов, золы-уноса, красного бокситового и металлических шлемов, а также твердых бытовых отходов. Целью данных исследований является разработка новой безотходной технологии переработки промышленных отходов с последующим получением эффективного малоклинкерного вяжущего и строительных материалов специального назначения.

Задача прироста прочности строительных изделий может решаться эффективными традиционными технологическими приемами - за счет использования комплексных химических и активных минеральных добавок. Но если использование в составе сырьевых смесей активных природных минеральных добавок потребует дополнительных затрат на их производство, то 12 тепловых электрических станций, эксплуатируемых в Украине ежегодно направляются в отвалы 10 млн. тонн золы-уноса (ЗУ). Удельный вес использования такого сырья техногенного происхождения отечественными предприятиями строительных материалов в 5-8 раз меньше, чем в зарубежных странах [478,480].

Зола-уноса - это тонкодисперсный материал, состоящий, как правило с частиц размерами от доли микрона до 0,14 мм.. Основным компонентом ЗУ является стекловидная алюмосиликатная фаза, которая содержит 40-65 % всей массы, ее частицы имеют шарообразную форму с размерами до 100 мкм [481].

В работах [482-483] авторами установлено, что основные составляющие золы - SiO2, Al2O3 находятся преимущественно в виде стекловидных фаз. В результате проведенных исследований было установлено, что активность золы возрастает с увеличением содержания стекловидных фаз.

Одним из перспективных исследовательских направлений ВНТУ является активация золошлаковых отходов, для дальнейшего их использования в

производстве строительных материалов. На наш взгляд, химическая активация золы-уноса кислыми остатками фосфогипса или щелочной средой красного шлама есть наименее энергоемкой, эффективной и экологически чистой технологией переработки промышленных отходов.

Комплексный метод механо-химической активации золы-уноса (ЗУ) предполагает разрушение поверхности стекловидной оболочки частиц путем использования остатков кислот с фосфогипса или ее растворением в щелочной среде красных шламов с одновременным перемешиванием смеси. Применение механического перемешивания золошламовой и золофосфогипсовой смесей способствует более полной активации ЗУ [484-485].

Фосфогипсовые отходы являются побочным продуктом при производстве фосфорной кислоты экстракционным способом. Химический состав фосфогипса Винницкого ПО "Химпром "следующий : CaO 7,42–12,8%; SO3 2,41–6,25%; F 3,55–5,81%; P2O5 14,49-21,18%; PЗ 13,21–15,78% ; H2O 9,76-16,07%, остаток соляной кислоты - 6,66– 17,7% [486].

Дифференциально-термические анализы (ДТА) цементного камня с разным количеством золы, обычной и обработанной кислыми стоками фосфогипса, а также контрольного образца без добавки золы-унос показывают, что на кривых ДТА зафиксированы такие термические эффекты: раздвоенный эндотермический эффект в интервале температур 100-120 °С с максимумами при 105-150 и 180 °С, указывающий на удаление адсорбционной воды из гидратных новообразований. Резкий эндоэффект с максимумом при 500-520 °С связан с дегидратацией гидроксида кальция - Ca(OH)2. Размытый экзотермический эффект при 880-905°С свидетельствует о наличии низкоосновных гидросиликатов кальция, скорее всего гидросиликатного геля. В образцах с активированной золой на кривой ДТА можно увидеть более глубокий эндоэффект, чем у образца с не активированной золой, подтверждающий наличие значительно большего количества гидратных новообразований.

Рентгенофазовые исследования цементных и золоцементного образцов (рис. 1) указывают на наличие в их составе негидратованих клинкерных

минералов C3S - линии с межплоскостными расстояниями d / n = 3,02; 2,77; 2,75 2,18; 1,76; 1,45 A ; C2S - линии с d / n = 2,77; 2,18; 1,97 1,76; 1,45 A; Ca (OH)2 - линии с d / n = 4,90; 3,10; 2,62 1,92 A; CaC03 - линии с d / n = 1,82 A; кварца - линии d / n = 3,34 A. Кроме того, отмечаются линии, характерные для гидратных новообразований - низкоосновных гидросиликатов кальция (CSH) - d / n = 3,08 A.

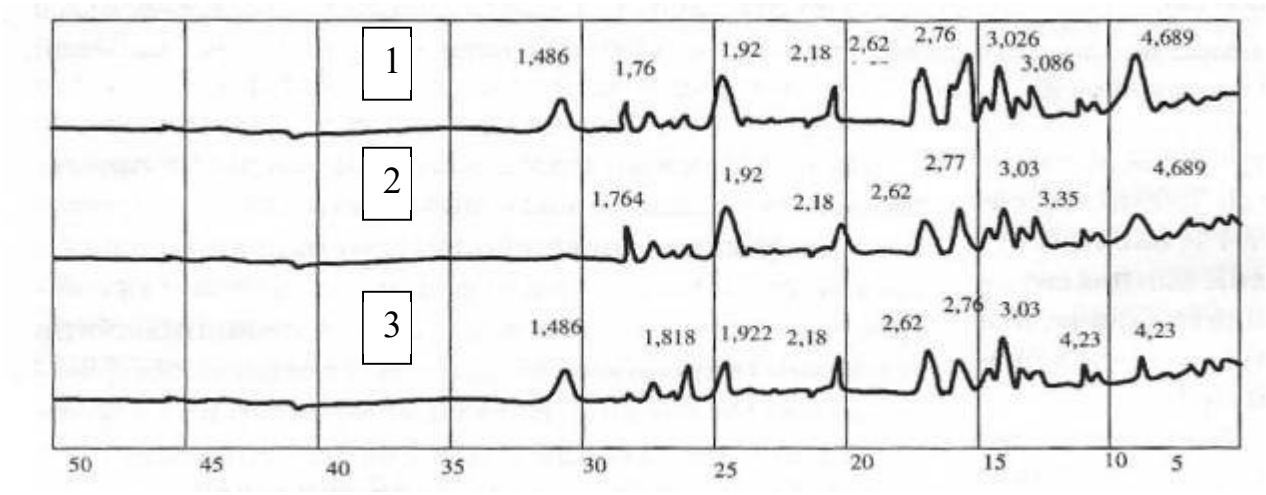


Рис. 1. Рентгенограммы опытных образцов: 1 - цементный образец; 2 - цементный образец с добавкой 30% не активированной ЗУ; 3 - цементный образец с добавкой 30% химически активированной ЗУ.

В золоцементных образцах с добавкой активизированной золы (образец 3) появляются комплексные алюминий-железогидросульфосодержащие соединения кальция, для которых характерны линии с d / n = 2,45; 3,07; 4,22; 7,62 A. Наличие таких новообразований в составе золоцементных образцов можно объяснить тем, что во время химической активации ЗУ образуются сульфаты алюминия и железа. Рентгенограммы и ДТА подтверждают наличие таких солей и возможность их участия в процессах твердения вяжущего.

Красный бокситовый шлам обладает достаточно высокой щелочной средой. Поэтому использование красных шламов для химической активации ЗУ также приводит к разрушению стеклообразной поверхности золошамовых отходов, что дает возможность экономить высокоэнергоемкий компонент строительной смеси – цемент. Авторами в работах [483-485] доказано, что добавление бокситового шлама в состав золоцементной смеси обеспечивает

интенсификацию процессов новообразований минерально-фазового состава и обеспечивает экономию минерального вяжущего.

В работе [487] доведено, что основным направлением утилизации красного шлама при производстве строительных материалов является его использование в качестве модифицирующей добавки к золоцементному вяжущему, введение бокситового шлама существенно влияет на изменение новообразований золоцементого камня.

Необходимо учитывать, промышленные отходы могут широко применяться для получения специальных строительных материалов [488]. К специальным материалам разработанным у ВНТУ можно отнести композиционный бетон с защитными свойствами от электромагнитных излучений [489], статического электричества [490], анодные заземлителели для защиты подземных инженерных сооружений [491].

В работах [492-493] подтверждено, что применение Бэтела-м ячеистой, вариотропной и плотной структуры дает возможность снизить уровень электромагнитных излучений, а ячеистый электропроводный композиционный металанасыщенный бетон является эффективным радиопоглощающим материалом. В качестве электропроводного компонента целесообразно использовать металлический шлам шарикоподшипникового производства. Такой шлам не подлежит дальнейшей переработке, так как на своей поверхности содержит большое количество охлаждающей жидкости, которая состоит из эмульсии масла [494].

В статье [495] установлено, что меняя вид электрического тока, его величину и длительность протекания можно управлять физико-химическими процессами во время твердения композиционного металопроводного бетона, а следовательно, и электрическими характеристиками Бэтела в нужном направлении.

В работах [495-496] обоснована целесообразность применения мелкодисперсных порошков шламов стали ШХ-15 для изготовления специального защитного покрытия. В работе [497] предложено использовать для

борьбы с зарядами статического электричества покрытие с электропроводящего бетона, технология изготовления которого довольно проста и не требует дорогих материалов и специального оборудования. Установлено, что для получения антистатического покрытия, соответствующего требованиям электропроводности, физико-механическим и эстетическим требованиям, необходимо изготавливать покрытия на крупном диэлектрическом наполнителе.

Авторы в работе [498] подтверждают, что Бэтел-м может использоваться для изготовления электропроводящих элементов (анодных заземлителей) систем антикоррозионной катодной защиты подземных инженерных сетей, а формирование таких изделий необходимо проводить используя одновременное воздействие на приготовленную смесь электромагнитного и механического способа. Формирование изделий таким способом обеспечивает улучшение физико-механических и электрофизических свойств элементов анодных заземлителей.

В результате проведенных аналитических исследований установлено:

- производство строительных материалов относится к числу наиболее материалоемких отраслей промышленности, использования промышленных отходов в качестве сырья при изготовлении строительных материалов может быть использовано для существенного снижения темпов исчерпания природных ресурсов;

- промышленные отходы успешно можно использовать для создания безклинкерного вяжущего и материалов специального назначения.

DOI 10.46299/ISG.2021.MONO.TECH.II-525-540

8.3 Основные необходимые факторы эффективного развития строительной организации и проблемы внедрения инноваций

Целью деятельности любого предприятия является получение ценного продукта или услуги и как результат для получения прибыли не только для телеономического выживания, но и для развития. Прибыль очень важный ресурс. Для этого используется экономический потенциал предприятия и реализуется соответствующий стратегический план. Для достижения поставленных целей предприятия работают над созданием конкурентоспособного продукта, качество и цена которого соответствуют требованиям потребителей, в то же время с низкими затратами и короткими сроками производства. Вопросы качества становятся все более актуальными с каждым годом. В то же время организационные структуры предприятий-производителей и подходы к организации производства имеют свои различия, поскольку существуют разные социальные системы, методы производства и производственные отношения. Таким образом, для отдельного предприятия, как первичной ячейки организма любой экономической системы, необходимо абстрагироваться от состояния макро- и мезо-таргетинга и учитывать информацию о факторах внутренней среды, основные компоненты которых это маркетинг, производство, финансы, персонал, исследования и разработки. Формирование внутренней среды организации-синергического взаимодействия формальной и неформальной оргструктуры, создание генома деловой и духовной культуры имеют огромное значение для развития и уровня функционирования любой социальной системы, однако не менее важным, если не решающим является фактор рационального управления и создание благоприятных условий для производственных и социальных отношений в обществе государственными институтами. Таким образом прогресс в развитии любой организации ,в том числе и строительной, определяется не только внутренними и внешними условиями , но и используемыми средствами и методами управления.

В сегодняшнем 21-ом веке с бурно развивающейся техникой и технологиями кажется , что неразрешимых проблем нет и все задачи решаются легко и просто.Так кажется, пока не приходит осознание того , что погоня за комфортом и техническими благами подогнала человечество к краю пропасти и на первом плане не чудеса науки и техники, а морально-этические принципы поведения в мировом сообществе людей и общения с Природой. Всесилие людей ,ослепленных жаждой наживы ,поворачивается бедой для всего человечества.

Наличие такого факта или явления, как непредвиденные обстоятельства, накладывает ограничения на выбор альтернатив и возможность точного прогнозирования и планирования. Это следует из относительных, но неоспоримых ограничений знаний об организационных структурах и организационных процессах, нет абсолютных знаний о чем-либо из-за изменчивости природы и мира. Цель и результат никогда не совпадают точно. [499] Все происходит в соответствии с законами теории вероятности, теории информации, теории хаоса, теории катастроф и наконец в соответствии с Вселенскими законами, которых человечеству не все дано и знать.

Естественно желание узнать больше и достичь наивысшего уровня совершенства, но познание и развитие не имеют границ, этот процесс бесконечен. Поэтому изоморфизм структуры строительной организации является естественным явлением, которое было теоретически обосновано в работе В.И. Савенко и С.И. Доценко. [500] Показано, что модель сбалансированной системы показателей является вполне теоретически объяснимо . по своей структуре на основе бинарных отношений в форме диалектического единства категории «общее» и «единичное» ,причинно-следственных связей и является практическим примером модели знаний о предметной области на основе центральных законов интегративной деятельности мозга [501,511]. Принцип диалектических отношений категории в форме «общее» - «единочное» используется в исследованиях такого типа

отношений и их роли в исследуемых моделях. Энергия, освобождающаяся при разрешении антиномий , является движущей силой развития системы.

В этом случае определяющими внутренними факторами являются: 1) персонал (владельцы, менеджеры и исполнители), 2) инфраструктура, машины, механизмы и инструменты, 3) ресурсы (финансовые, материальные, энергетические, интеллектуальные и другие), 4) используемые методы, технологии, инновации (Рис.1) [502] Внешние факторы- международные отношения, финансовые рынки, макроэкономика в мире, местное самоуправление, население, местные региональные рынки, ближайшая среда, конкуренты и партнеры. потребители, климат и погода, демография, отраслевые рынки, состояние, макроэкономика в государстве, духовная и деловая культура , Вселенские законы. Все эти факторы, как внутренние, так и внешние, безусловно, влияют и определяют развитие любой организации в том числе и строительной или сельскохозяйственной, действующей под открытым небом и в огромной мере зависящей от милости Природы. (Рис.1). [502]

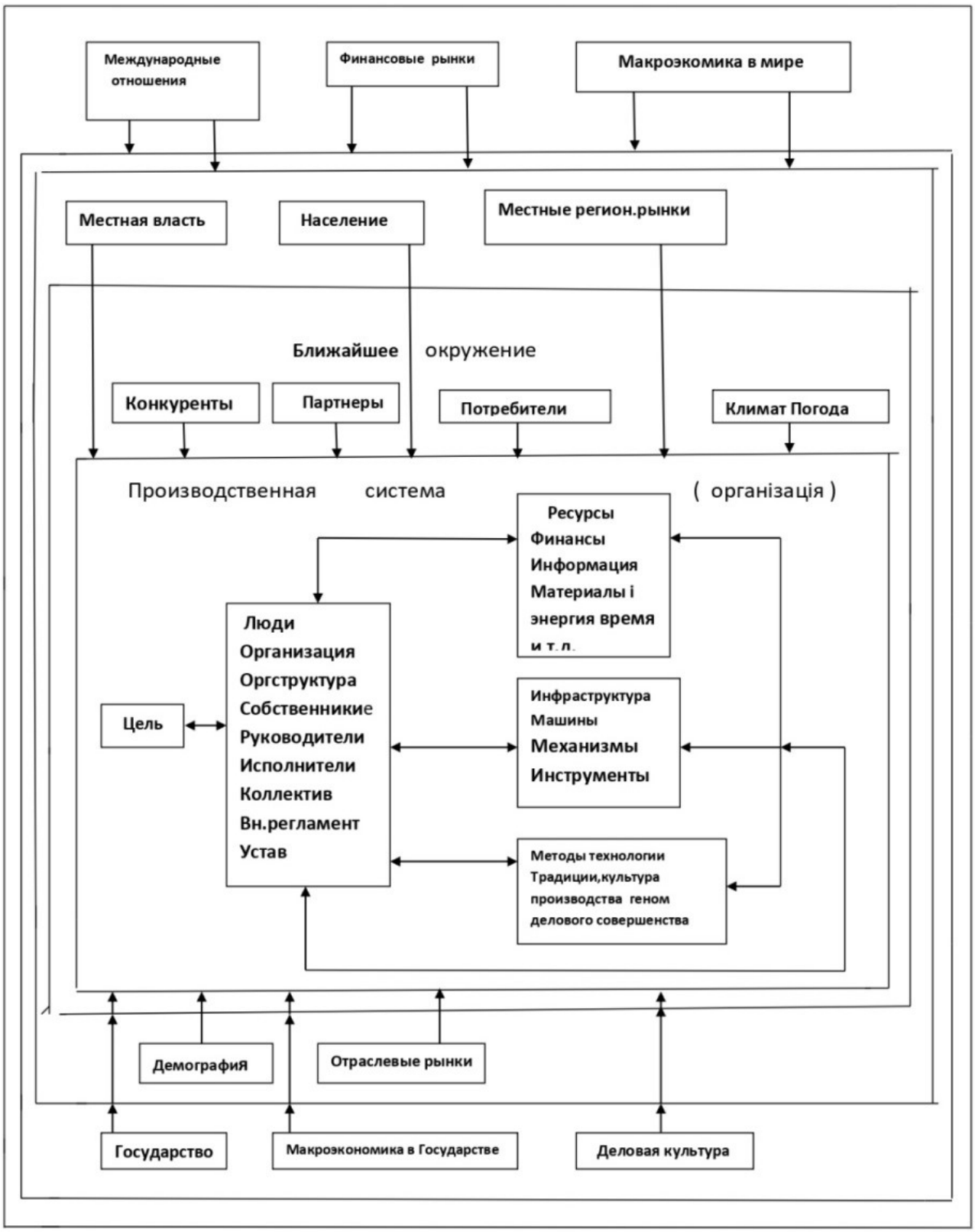


Рис. 1. Внутренняя и внешняя среда организации, связи и взаимодействия

Организация, возглавляемая лидерами (собственники, менеджеры, исполнители), создающими геном(традицию) высокой духовной и деловой культуры, которые организуют синергетическое взаимодействие управляющей и управляемой подсистемы, формальной и неформальной организационных структур организации при обязательной поддержке государства, должным образом оценивают и своевременно учитывают внутренние и внешние факторы ,обречены на успех. [503,509]

На современном этапе, исходя из опыта прошлых лет, успех может быть достигнут только при государственной поддержке в виде создания благоприятных условий для деятельности организаций.

Первым шагом к достижению телеономного уровня выживания является приведение деятельности организации в соответствие с международными стандартами серии ISO 9001-2000 (2015), что соответствует уровню 250-300 баллов по 1000-балльной шкале EFQM. Второй шаг - внедрение модели совершенства TQM или EFQM. Это позволяет достичь уровня 450-500 баллов по шкале EFQM, а может и больше, но это при серьезной научной и инновационной поддержке. Без науки и инноваций лидером стать невозможно. Внедрение даже самых передовых моделей - это следование за лидером. Совершенно новые пути развития - это пути научных открытий и изобретений.[504,505] Будущее лидирующее положение любой компании, также и строительной, определяется способностью лидеров и всего персонала осваивать наукоемкие инновационные технологии, генерировать и быстро внедрять свои **изобретения** и открытия. Будущее за наукой и учеными-изобретателями высоко интеллектуальными и духовными людьми , для которых открыта всеобщая информационная система и всеобщие Вселенские законы. Такими были Будда, Иисус Христос, Перикл, Сократ, Пифагор, Платон, Никола Тесла, а также наши великие соотечественники А.А.Богданов, В.М. Глушков , А.Д. Сахаров, идеи которых стали историей так и не реализовавшись из-за непонимания впасть имущих и

общества в целом. Поэтому трудно переоценить роль в прогрессе организаций и общества в целом управляющих государственных институтов.

В системе управления реализуется процесс взаимодействия объекта управления и управляющей системы. Управляемость системы одно из основных свойств, характеризующих состояние системы и ее организованность.

Вырабатываемые управляющей системой команды (управляющие воздействия) всегда направлены на уменьшение разнообразия, т.е. числа возможных состояний управляемого объекта – системы. Идеальный вариант характеризуется сведением всех возможных состояний к одному, заранее намеченному. Для того, чтобы управляющая система могла эффективно справляться с этой задачей, она, как показал У.Р. Эшби, должна сама обладать необходимым разнообразием, так как «только разнообразие может уничтожить разнообразие» [505] Наиболее совершенной формой саморегулирования с использованием обратной связи является самоорганизация (гомеостазис). Обеспечивается так называемая сверхстабильность, т.е. способность системы возвращаться к состоянию равновесия после воздействия различных случайных возмущений.[506] Следует отметить широкое распространение самоорганизации в живой природе. Отдельные важные ее черты присущи также техническим и экономическим системам. Самоорганизующая система в принципе является многоконтурной. В ее основе лежит некоторая исходная управляющая система, которая обменивается информацией с объектом управления (первый контур). В результате такого обмена и обеспечения необходимой реакции на «нормальные» внешние воздействия достигается равновесное состояние системы**.**

Помимо первого контура, в самоорганизующейся системе должен функционировать по крайней мере еще один контур (второго порядка). Это необходимо,чтобы встроенная в него система управления контролировала и прогнозировала эффект, вызываемый деятельностью первого контура. В том случае, если результаты контроля и прогноза оцениваются системой второго уровня как неудовлетворительные (при отличных от «нормальных» внешних

воздействиях),она вносит изменения в правила функционирования первой системы. В принципе, самоорганизующая система обычно имеет больше двух уровней управления [507] В экономических системах переходу к эффективным формам саморегулирования и самоорганизации существенно способствует согласованность производственных целей разных уровней управления и обеспечение эффективного взаимодействия людей, имеющих подчас различные интересы, в направлении достижения этих целей.

В строительной системе информация по каналам прямой связи передается в виде команд (управляющих воздействий) руководства, по каналам обратной связи – в виде сведений о постоянно меняющейся обстановке на стройке. Кроме того, поступают сведения о возмущающих воздействиях извне. Информация может не только передаваться по каналам связи, но и хранится в записанном виде (в книгах, на чертежах, в «памяти» электронной вычислительной машины, в клетках головного мозга человека и т.д)

Известно много определений понятия «информация». Ее характеризуют как обозначение содержания, полученного из внешнего мира коммуникацию, связь, в процессе которой устраняется неопределенность ,ограничение разнообразия и т.п. Наиболее важно при определении информации то, что обычно заранее невозможно предугадать, какое именно произойдет событие из числа многих возможных, т.е. информация всегда связана с элементом-неопределенности, случайности. Таким образом, с наиболее общей точки зрения процесс получения информации есть процесс снятия неопределенности в результате того, что из некоторой совокупности возможных в данной конкретной ситуации явлений выделяется явление, фактически имевшее место». Основная задача автоматизированной системы управления, сформулированная В.М. Глушковым, состоит в том, чтобы обеспечить оптимальное функционирование объекта управления (производственной организации, объединения, отрасли и т.п.) как единого целого, за счет правильного выбора целей и путей их достижения,

наилучшего распределения заданий между отдельными частями, из которых состоит объект, и обеспечения их четкого взаимодействия.[508]

Сегодня как никогда актуальны работы незаслуженно подзабытого А.А.Богданова с его Всеобщей организационной наукой-тектологией [509],идущей вразрез с тупым, некогда господствовавшим атеизмом. Действующая ныне теория развития организаций Пригожина А.И.[510] должна бы стать настольной книгой каждого предпринимателя и преподавателя этого профиля, но нет пророка в своем Отечестве. С открытым ртом слушаем, что изрекут и напечатают нам на английском языке. Своих заметить трудно-они же рядом.

История отношений науки, как отдельных ученых так и общественных научных организаций, с официальными государственными научными институтами всегда носила сложный, а порой и драматический характер. Так было, так остается в настоящее время, к сожалению.[513,с.272] Стоит только вспомнить имена великих подвижников науки и выдающихся ученых разных времен и народов Пифагор, Сократ, Платон, Авиценна, Апполоний Тианский, Николай Коперник, Филиппо (Джордано) Бруно, Галилео Галилей, Исаак Ньютон, Михайло Ломоносов, Нильс Бор, Томазо Кампанела, Макс Планк, Дмитрий Менделеев, Альберт Энштейн, Никола Тесла, Александр Богданов, Андрей Сахаров, Вернадский В.И., Козырев Н.А., Глушков В.М. Левашов Н.В. Гаряев П.П. и еще тысячи гениев, которых всех и перечислить непросто.. Стоит вспомнить ныне действующих, сегодняшних, борющихся за признание, за право быть услышанными Леонова В.С., Сухоноса С.И., Валерия Кондратова, Гриняева А.ф. , Деревенского О.Х. и многих других. И у каждого из них на пути познания и развития стояли серьезные, а порой опасные препятствия официальных институтов, инквизиции от религии и инквизиции от науки, различного рода комитетов по борьбе со лженауками.

По вине государственных деятелей, политиков и администраторов науки, руководителей академий, преследовались и тормозились научные разработки,

целые направления в науке: генетика, кибернетика, не признавались, всячески тормозились и засекречивались такие науки как тектология (А.А.Богданова, опередившего на 3-и десятилетия своих современников), развитие кибернетических сетей управления экономикой всей страны (Глушков В.М. лишенный возможности внедрить свои передовые разработки в жизнь партийным руководством и академией наук СССР). Идеи академика Сахарова А.Д, всемирно известного физика-ядерщика, по организации и структуре отношений между советскими республиками и в обществе не были услышаны, остались не понятыми тогдашним руководством страны и осуждались высшим руководством Академии наук СССР, как непрофессиональные. Козырев Н.А. прошел тяжелейшие и несправедливые испытания и все же защитив свои идеи в докторской диссертации и последующих научных открытиях о сущности времени, как физического явления, но так и не получил должной заслуженной оценки, соционика (учение о типах информационного метаболизма-Аушра Аугустинавичюте), саентология и дианетика (учение о деятельности человеческого разума-саентологическая церковь и международная ассоциация саентологии, основанные Р.Л. Хаббардом).

Таких примеров множество. Они свидетельствуют о том, что много основополагающих теорий и целых направлений в науке и технике, гуманитарных науках,тормозятся из-за некомпетентности или сознательного субъективного противодействия развитию научных теорий государственных научных институтов и отдельных высокопоставленных чиновников от науки. Кроме политических факторов видимо работает еще и принцип, эффект Лоуренса Питера. Так было, время прошло, а все повторяется. Бьются безрезультатно о стену равнодушия со своей теорией гравитации и антигравитации Гриняев А.Ф. и Деревенский О.Х.. Выступает на разных симпозиумах и выставках ученый Леонов В.С, да только опубликовать его книгу «Новая Физика» взялись Англия и Индия на английском языке, а в родном Отечестве в упор не хотят замечать и по достоинству оценить. А ведь найдены решения глобальных энергетических и экологических проблем. Не замечают и нашего Ващенко В.Н, открывшего людям глаза на ошибки создателей теории глобального потепления, изменения озонового слоя Земли, и сегодня

активно трудящегося без необходимой поддержки и понимания, создавая уникальный прибор для утилизации всех видов отходов и мусора на основе плазменно-химического реактора.

Несколько лет безуспешно тянется вопрос внедрения и эффективного использования уникальной технологии по защите от коррозии и повышения устойчивости и сроков службы металлических конструкций и изделий с помощью экологически чистого материала на растительной основе CONTRRUST (Автор патента Высоцкая Л.Н. и авторский коллектив разработчиков научно-технических материалов и публикаций ,а также документов для участия в различных инновационных конкурсах и программах: Каратеев А.М.,Плугин А.А.,Савенко В.И.,Кущенко И.В. Ващенко В.Н., Машков О.А., Максимов С.Ю., Журавский А.Д. и другие).[503] Научные и государственные институты при этом практически были безучастными, кроме похвальных грамот и сертификатов, поддержки никакой. Как говорится , надо ж дать. А сколько неизвестно. Сегодня , когда некомпетентными политиками принимаются абсурдные решения и раздувается психоз с политической выгодой и не ищутся причины, а ведутся неуклюжие попытки борьбы со следствиями , мудрый доктор из Львова Анатолий Незгода успешно борется со всеми видами пневмонии , включая коронавирусную, запантовал свой метод лечения всех видов пневмонии (включая и коронавирусную), ВИЧ и даже рака, но его не слышат и в упор не видят те кому положено видеть такие спасительные вещи в первую очередь. Более того даже мешают внедрению в практику. Видимо преследуются другие неблаговидные цели.

Важнейший вопрос выживания человечества, в сложившейся в настоящее время экологической ситуации, выходит на первое место, но снова, даже перед лицом реальной глобальной угрозы, власть имущие, государственные и научные институты не видят и не слышат выдающихся современных-ученых, не облеченных властью над людьми, но имеющие разум и талант.

Проведенный анализ публикаций инновационных научных работ ученых, не имеющих поддержки властных структур и лишенных возможности представить на

суд широкой научной общественности результаты своих исследований и научных теорий и открытий, а также натурные, лабораторные исследования и собственный опыт разработок и внедрения инновационных работ авторов позволяет утверждать, что рассмотрение и оценка научно-технических трудов официальными научными институтами проходит недостаточно прозрачно и объективно. Еще более сложный путь от рассмотрения до внедрения. Так работа авторов на соискание Государственной премии Украины в области науки и техники «Энергоэффективные технологии ускоренного возведения объектов жилищного и гражданского строительства» удостоена премии в 2013 году с шестого раза, а ведь терпение авторского коллектива могло иссякнуть и после третьего раза. Результаты практически были те же, разве что объемы внедрения наращивались да состав конкурентов изменялся.

Работа на соискание Государственной премии Кабинета министров по инновационным технологиям в области экологически чистой защиты от коррозии металлических конструкций и изделий веществом на растительной основе CONTRRUST пять раз безуспешно подавалась в конкурсную комиссию. А в ответ равнодушное молчание. Дело же ведь не в медалях и премиях, а в том, чтобы компетентно оценили и применяли разработку. Применяют единицы, кто уже попробовал, в Беларуси, Казахстане, Грузии, Азербайджанеи т.д, но не на Родине. Очень интересуются китайцы, но не столько продуктом, сколько технологией изготовления и применения. А что же официальные научные институты и авторитеты? Кроме серии дорогостоящих испытаний, положительных заключений и сертификатов,- ничего. Аналогичную ситуацию наблюдаем и в исследованиях Леонова В.С. (до сих пор не может опубликовать фундаментальный учебник «Новая физика» и внедрить в полной мере поистине революционные идеи в энергетике,космонавтике,ядерной физике и т.д.), Гриняев А.Ф и Деревенский О.Х. безрезультатно бьются о стену равнодушия со своей теорией о природе гравитации и антигравитации, также как и Валерий Кондратов с его Тканью Мироздания , которая может сравниться со всемирно известной таблицей периодических элементов Менделеева. Ващенко В.Н.,известный антарктический исследователь

изобличивший несостоятельность теории озоновых дыр, не имея должной, поддержки, пытается развернуть борьбу с вредными отходами и мусором с помощью своего уникального прибора на основе плазменно-химического высокотемпературного реактора. А поддержки нет, скорее наоборот. Случай с уникальной фундаментальной теорией научной школы Плугиных особый и нуждается в более подробном рассмотрении и обсуждении, поскольку это дело всей жизни Плугина А.Н.,касается жизни всего Человечества.А мыслимых и немыслимых , лабораторных ,натурных, аналитических и практических опытов и исследований было проведено более, чем достаточно не на одну жизнь.

В виду особой важности для Человечества фундаментальной научной теории школы Плугиных из Харькова жизненно необходимо обратить на нее внимание широкой научной общественности и компетентных руководителей самого высокого уровня всех стран. Пусть даже это повлечет за собой самые строгие дискуссии, проверки и испытания. Это ведь нужно в интересах всех людей на Земле. И самое главное, что время не терпит, его уже нет.. Школа профессора Плугина А.Н. как раз принадлежит к числу ученых, которые осознавая опасность, созданную людьми по недопониманию, критическую для всей Земли, для всей цивилизации, ситуацию, силой своего разума и таланта постигли причины беды, предлагают выход и должны быть услышаны.

Гипотеза о влиянии электрических явлений на геологические процессы и глобальные события изложены и аргументирована вескими доказательствами в в многочисленных, в том числе в рецензированных наукометрических базах, трудах.[515]

Глобальное потепление официально признано одним из аспектов изменения климата Земли, и основным его фактором является резкое антропогенное увеличение концентрации парниковых газов, особенно двуокиси углерода (CO2). Однако многие ученые не согласны с этой точкой зрения и не считают антропогенный фактор основной причиной. Таким образом, рассматривая меры по ограничению выбросов парниковых газов как бесполезные. Авторы новой теории

(научная школа Плугиных) считают, что настоящая причина - отсутствие однозначных идей в рамках Науки о планете Земля. Целью исследования, представленного в статье [515,516], является установление истинных причин глобальных катастроф, глобального потепления, их стремительного роста в последнее время, особенно в последние десятилетия и степень их опасности, а также выявить их характер и актуальные механизмы. Авторы новой теории критически проанализировали и сопоставили имеющиеся данные по мировым процессам и катастрофам на Земле с древнейших времен до наших дней выявили их актуальные механизмы на основе субмикро- и макроколлоидной химии и физико-химической механики Земли – новой науки о Земле, созданной авторами. Авторы показали, что движущая сила всех глобальных явлений и процессов на Земле - это электрическая сила, обусловленная избыточным отрицательным электрическим зарядом Земли, а причина приближающейся глобальной катастрофы – ненормальный рост заряда за последние десятилетия. Статья посвящена критическому анализу экспериментальные данные о динамике глобальных катастроф, в том числе изменение температуры Земли и уровня океана, большое количество углекислого газа и атмосферная пыль. (Авторы Плугин А.Н.,Плугин А.А. и другие члены школы, опубликовано EDP Sciences, 2020, Материал статьи № 02001 был представлен на Международной онлайн конференции по устойчивому будущему: экологические, технологические, социальные и экономические вопросы (ICSF 2020), 22 апреля 2020г.). А реакции надлежащей нет. Не слышит не только научное сообщество, но и те , кому положено такие серьезные сигналы слышать и предпринимать адекватные меры.

С надеждой на то, что несмотря на замалчивание и сокрытие выдающихся научных разработок и открытий, дабы не выглядеть такими какими они есть, явно не государственные чиновники не смогут воспрепятствовать прогрессу науки. А прогрессивная научная общественность поддержит и поможет выйти в свет, опубликовать у себя на родине, в Украине, уникальный научный труд доктора химических наук, профессора, лауреата Госпремии Украины в области науки и техники, Плугина А.Н.,Плугина А.А. и всех членов его школы. На основе

принципиально новой научной теории об избыточном отрицательном заряде Земли (ИОЗ) рассмотрены причины, механизм и реальные пути остановки пандемии коронавируса COVID.-Установлено, что главная причина пандемии – чрезвычайно высокое количество и масса запускаемых космических ракет с конца прошлого века, что привело к накоплению огромного ИОЗ Земли, выше предельного для начала пандемии. Непосредственной причиной явились запуски в очень большом количестве ракет Китаем в ноябре-декабре 2020 года. Даны предложения: в первую очередь остановить указанные запуски всеми странами или установить мораторий на определенное время.

О научном направлении: Научной школой доктора химических наук, профессора Плугина А.Н. в последние годы впервые в истории науки доказана применимость положений фундаментальной материаловедческой дисциплины «Физико-химическая механика дисперсных систем и материалов», научной основы школы, к глобальным и субмикроскопическим процессам во Вселенной, Галактике и на Земле.[516] Раскрыта природа возникновения этих процессов на основе реальных (а не фантастических) исходных всепроникающих элементарных частиц-реонов, и ареонов, обладающих зарядом электрона и позитрона,но массой меньшей в 10 млн.раз. Реоны испускаются (эмитируются) свободными или слабо связанными электронами. Основным источником этих электронов и создаваемого ими электрического поля на поверхности Земли является термодиффузия электронов из раскаленного (6000 С) ядра Земли к ее холодной поверхности (в среднем 140 С). Средняя напряженность такого электрополя равна – 130 В/м (равновесная величина). Движущей силой абсолютно всех процессов во Вселенной и на Земле является напряженность электрополя, умноженного на заряд. Не очень большие отклонения от равновесной напряженности обусловили возникновение и развитие жизни на Земле. Очень большие отклонения приводили к Глобальным катаклизмам, гибели цивилизаций. Глобальное потепление, многократный рост количества и частоты сильнейших землетрясений, вулканов, ураганов, наводнений, лесных пожаров, авиакатастроф и др., в последние десятилетия, смертоносные новые вирусные заболевания ВИЧ/СПИД, коронавирус и восстановление старых

массовых заболеваний, в последнее время происходят из-за накопления в огромном количестве ИОЗ, источником которого являются запуски космических ракет (более 5 тыс.шт.), особенно супертяжелых «Спейс шаттл» (американский многоразовый транспортный космический корабль) в последние несколько десятилетий, никогда ранее не запускавшихся. ИОЗ порождается почти мгновенным сгоранием огромного количества ракетного топлива с разделением его на положительный заряд (остатки от згорания, остающиеся в зоне запусков) и отрицательный (раскаленная масса, содержащая электроны), который с огромной скоростью уносится в атмосферу и космос.[515.516] Реально приблизилась опасность гибели современной цивилизации при дальнейших неумеренных запусках ракет, планируемого освоения Луны и Марса. Предложены реальные меры предотвращения этого, одной из основных является немедленная остановка неумеренных запусков тяжелых и супертяжелых космических ракет или мораторий на определенное время, а также популяризация указанного научного направления, развертывание научных исследований, обновления учебного процесса и др.[517] Новые научные основы дают возможность прекратить массовое уничтожение ископаемых энергоресурсов, создание новых альтернативных и возобновляемых источников энергии и транспортных средств, что позволит остановить приближающуюся гибель цивилизации. Такие меры позволят сэкономить многомиллиардные затраты на запуски космических ракет, на устранение последствий катастроф и борьбу с пандемиями. Следует отметить, что новая теория, предлагаемая Плугиным А.Н. противоречит т.н. фундаментальным положениям, которые, на наш взгляд, сегодня явились тормозом развития Реальной науки о Земле.[518] Основные положения указанного направления изложены в нескольких томах бесплатного издания Ламберт пресс (в Германии) на руссом языке. Но их там никто не читает. Была попытка представить статью в журнал «Физика Земли», но отвергнута из-за несоответствия фундаментальным положениям, так называемой официальной науки. Необходима широкая публикация указанных материалов, однако достаточных средств и негласный

запрет публикаций в российских изданиях не позволяют это осуществить собственными силами.Необходима поддержка.

Выводы

1 Рациональное потребление и расходование всех видов ресурсов , организация и управление процессами возможно лишь при условии четкого и максимально точного учета факторов внутренней и внешней среды организации

2. Исходные данные для проектирования и организации производственных процессов должны максимально соответствовать реальным условиям.

3. Управление должно быть гибким и устойчивым даже в условиях возможных неопределенностей. Для этого должны максимально использоваться современные компютерные средства и информационные технологии во главе с высокоинтеллектуальным и компетентным человеком-руководителем

4. Государство и общество должно всячески поддерживать и поощрять развитие науки и личности высокоморальных ученых и изобретателей, так как именно они определяют уровень развития научно-технического прогресса, уровень производительных сил и производственных отношений общества.

5. Создание генома высокой деловой и духовной культуры,создание благоприятных условий и среды в организации и обществе зависит и определяется государственными институтами , интеллектуальной и духовной зрелостью общества в стране и по большому счету решает судьбу всей экономической формации.

DOI 10.46299/ISG.2021.MONO.TECH.II-541-544

8.4 Комплексна оцінка візуальних якостей міського середовища як крок до його системної гармонізації

Архітектура – мистецтво і наука проектувати і будувати будівлі і споруди (включаючи їх комплекси), а також сама сукупність будівель і споруд, які створюють просторове середовище для життя і діяльності людини. Архітектура формує матеріально організоване середовище, необхідне людям для їх життя і діяльності, відповідно до їх спрямувань, технічних можливостей і естетичних уподобань.

Згідно з цим визначенням, архітектуру можна розглядати одночасно як науку і мистецтво формування антропогенних просторів.

За призначенням антропогенні простори можна розділити на три категорії:

1. простори першого типу, основне призначення яких – створення максимально комфортних умов для людей, що знаходяться в просторі. Історично архітектура почала формувати саме простори першого типу – від поселень первісних людей до міст регулярного планування XVII – XVIII ст.;

2. на відміну від перших, простори другого типу в основному забезпечують функціонування просторів першого типу (здобич, виробництво, складування сировини, напівфабрикатів і продукції, розміщення транспортних мереж, транзитні зони. Рівень їх комфортності безпосередньо для людини росте із збільшенням технічного прогресу, проте цей комфорт створюється виключно в цілях підвищення працездатності і забезпечення норм безпеки.

Пріоритетним в таких просторах є забезпечення оптимальної технологічної схеми, і людина в них розглядається як частина цієї системи. Простори другого типу повною мірою виділилися як самостійні утворення за часів Першої Промислової Революції у XVIII ст.;

3. простори-межі – найбільш історично "молоді" утворення, що призначені забезпечувати ситуацію переходу людини і ресурсів з просторів першого типу в другій і назад. Також до просторів третього типу можна віднести "буферні зони" між антропогенними і природними просторами. Стан людини в них можна

охарактеризувати як ініціацію, перехід з одного стану в інше, і призначення простору-межі – зробити такий перехід максимально безпечним.

Залежно від кліматичних, демографічних, культурних, соціальних, економічних, політичних і комплексу інших чинників люди формують різні поєднання цих просторів. Оскільки міняються вищезгадані чинники, остільки ці простори, відповідаючи цим змінам, народжуються, розвиваються, міняють свій тип. Але при порушенні гармонійного зв'язку з людиною (який ми розглянемо детальніше далі) простори усіх трьох типів перестають виконувати своє призначення.

При втраті зв'язку з іншими антропогенними просторами такі ділянки, що деградували (або природним чином, або із-за людей) повертаються до природного стану. Якщо ж простір, що деградував, неможливо вилучити з тканини взаємозв'язаних просторів (у місті така тканина особливо щільна) – утворюється "сліпа пляма", "діра" [519]. Потрапивши в таке середовище, люди його прагнуть покинути із-за фізичного і психологічного дискомфорту. Як наслідок, зростає функціональне навантаження на безпосередньо пов'язані з "дірою" простори, що, у свою чергу, може привести до їх деградації зокрема.

Найбільш щільний і різноманітний малюнок поєднань просторів усіх трьох типів формується в розвинених урбаністичних конгломераціях, що об'єднують різні функції (промислове виробництво, транспортний вузол, соціальне обслуговування населення), і формуються в течії декількох історичних етапів. Мультифункціональность дає "горизонтальний" розвиток складної мережі просторів і проблематику їх спільного прогресу, оскільки зміна однієї ділянки автоматично чинить вплив на суміжні з ним. Історична перспектива формує "вертикаль" – яка визначає пріоритети подальшого розвитку кожного з просторів і їх комплексу із збереженням або формуванням наново унікального "духу місця", властивого як конкретним районам, так і місту в цілому.

І "горизонтальний" і "вертикальний" розвиток міських просторів можна відстежувати, спираючись на різні їх функції і відповідно вибираючи точку зору (архітектора, урбаніста, економіста, політолога, соціолога, психолога і так далі).

Проте простежується тенденція до розгляду громадських міських просторів як ресурсу для забезпечення руху "потоків" і "мас" (людей, транспорту, ресурсів і тому подібне).

Недостатня доля погляду теоретичних дослідників і архітекторів, що практикують, на міські простори з точки зору їх мешканців і споживачів нині привів до ряду негативних наслідків :

1. погіршення якостей просторів першого типу з їх подальшою зміною функції у бік просторів другого типу або деградацією;

2. зростання кількості зон, що деградували, і зменшення кількості просторів третього типу.

Як загальний ітог – порушення щільності міської тканини, що, як було вказано вище, веде до погіршення функціонування усіх міських просторів в цілому.

Ці проблеми актуальні як для світової архітектури взагалі [520], так і для архітектури міст сучасної України зокрема [521]. Сучасне суспільство вимагає поліпшення зв'язку між пересічним громадянином і простором, у якому він живе. Єдиним шляхом відновити цей зв'язок стане додаткове дослідження перш за все візуальних якостей середовища, як пріоритетних при взаємодії із простором пересічної людини. Досліджуючи фізіологічний, психологічний, соціально-естетичний вплив візуальної частини міського середовища на людину, можна вивести закономірності створення позитивного резонансу між простором та людиною за допомогою візуальних чинників та рекомендувати конкретні проектні рішення для візуальної гармонізації як тих міських просторів, що вже існують, так і для тих, що проектуються.

Наукова новизна використання комплексної оцінки візуальних якостей міського середовища під час предпроєктних досліджень полягає у тому, що вона дозволяє:

- оцінити головні фактори взаємодії у рамках системи «людина-міський простір» з точки зору фізіології [522], психічних та соціокультурних

уподобань саме людей (а не з боку ефективності руху транспорту, дії виробничих процесів тощо);

- об’єктивно дослідити вищеназвані фактори за допомогою методу окулографії, який до цього не використовивався для оцінювання якостей міського простору і об’єктів у ньому;
- на основі найбільш ефективних методів дослідження візуальних якостей міського середовища [523, 524, 525, 526] дати комплексну оцінку його якостей, які впливають на привабливість простору для людей і дозволяють дати рекомендації по його розвитку та впливу на пов’язані із ним зони тканини міста;
- доповнити традиційну методику предпроєктного аналізу новими методами [527, 528], які дозволять висувати більш ефективні та привабливі з точки зору людини проектні пропозиції;
- встановити позитивний двосторонній зв'язок між людиною і простором, що, за висунутою теорією резонансу [529], дозволяє будь-якому міському простору використовуватися людьми найбільш повно і різноманітно.

DOI 10.46299/ISG.2021.MONO.TECH.II-545-559

8.5 Методика оптимізації параметрів стратегії технічного обслуговування за станом складних об`єктів техніки з адаптивною зміною періодичності контролю

Анотація. *Дійсна частина монографії присвячена одній із важливих і до кінця не вирішених проблем: забезпеченню надійності експлуатації складних об`єктів техніки. Це стосується оптимізації параметрів стратегії технічного обслуговування за станом з адаптивною зміною періодичності контролю. Розглянуті основні принципи та елементи побудови методики, розроблена технологія виконання завдання оптимізації відповідної стратегії. Запропоновано розраховувати параметри за умовою оптимальними методами вирішення задач. Розроблена та експериментально апробована методика оптимізації параметрів стратегії технічного обслуговування за станом складних об`єктів техніки з адаптивною зміною періодичності контролю.*

Ключові слова: *складні об`єкти техніки, стратегія технічного обслуговування, зміна періодичності контролю, технічне обслуговування і ремонт.*

Вступ, огляд стану проблем і постановка завдання

Процес технічного обслуговування складних об`єктів техніки дуже необхідний для підвищення їх надійності та продовження технічного ресурсу, особливо коли ці об`єкти неможливо чи недоцільно замінити новими. Це зазвичай буває через економічні, соціальні, небезпекові та інші деякі труднощі [530-532].

Незважаючи на те, що складні об’єкти в сучасних умовах мають у своєму складі вбудовані системи технічного діагностування (СТД), засобами якої здійснюються безперервний або періодичний контроль технічного стану, а також пошук несправностей та відмов, відновити ресурс можливо лише через проведення технічного обслуговування і ремонту (ТОіР).

Зміст процесу ТОіР залежить від ступеня складності об’єкта, конструктивних особливостей компонентного та елементного складу, від

наявності та ступеня розвиненості вбудованої СТД, від призначення об'єкта й режимів його застосування. Зміст процесу ТОіР визначається наступними головними його складовими:

- технічне обслуговування (ТО);
- ремонт (поточний, плановий, попереджувальний тощо);
- проведення аналізу і випробувань;
- забезпечення ТО і ремонту запасних елементів інструменту та приладів (ЗІП).

Технічне обслуговування згідно з [533,534] – це "комплекс операцій або операція з підтримки справності або працездатності об'єкта при використанні його за призначенням, простої, зберіганні й транспортуванні". Далі буде розглядатися тільки ТО при використанні за призначенням. Технічне обслуговування полягає в періодичній перевірці технічного стану об'єкта та заміні окремих його елементів, які знаходяться у передвідмовному стані. Технічне обслуговування проводиться при справному або працездатному стані об'єкта. Завдяки проведенню ТО відбувається "розрідження" потоку відмов об'єкта і за рахунок цього підвищується рівень його безвідмовності.

Ремонт згідно з [533] – це "комплекс операцій з відновлення справності

або працездатності об'єкта та відновлення ресурсу об'єкта або його складових частин". Розрізняють поточні та планові ремонти.

Поточний ремонт (ПР) призначений для відновлення працездатності складного об'єкта, проводиться у випадкові моменти часу, кожного разу при виникненні відмови об'єкта. При ПР, як правило, проводиться заміна одного або декількох компонентів чи елементів, відмова яких призвела до відмови об'єкта в цілому.

Плановий ремонт (ПЛР) призначений для поповнення ресурсу об'єкта,

проводиться у заздалегідь заплановані моменти часу. При ПЛР зазвичай проводиться заміна значної частини елементів об'єкта. Чим більша кількість замінених елементів, тим більша величина ресурсу, що поповнюється в результаті проведення планового ремонту. На практиці для зручності

планування та організації проведення ПЛР введено поняття виду планових ремонтів. За допомогою поняття виду ремонту конкретизується обсяг ремонту та правила призначення термінів їх проведення й забезпечення. Найбільш часто визначаються два види планових ремонтів: капітальний (КР) і середній (СР). При цьому передбачається, що обсяг КР істотно більший, ніж обсяг середнього ремонту. В результаті виконання КР здійснюється близьке до повного відновлення ресурсу об'єкта. При виконанні СР відбувається тільки часткове відновлення ресурсу.

Процес ТОіР здійснюється за відповідною системою, під якою розуміється сукупність взаємопов'язаних засобів, документації і виконавців, необхідних для підтримки необхідного рівня надійності об'єктів радіоелектронної техніки [535]. Елементами (підсистемами) системи ТОіР є [536-539]:

- система технічного обслуговування,
- система поточного ремонту,
- система ремонтних організацій,
- система забезпечення запасними елементами, інструментом та приладдям;
- система керування.

Система керування здійснює організацію і контроль процесу ТОіР відповідно до встановлених нормативних вимог й регламентів.

Неможливо також систему ТОіР розглядати у відриві від обслуговуючого і ремонтного персоналу, який здійснює конкретні дії з обслуговування та ремонту складних об'єктів. Систему ТОіР в цілому слід розглядати як організаційно-технічну систему, в якій людина виступає в ролі, як організатора, так і виконавця процесів технічного обслуговування і ремонту. Як організатор, людина керується нормативами і регламентами (параметрами системи ТОіР), встановленими для даного типу об'єктів радіоелектронної техніки.

На рис. 1. зображена типова схематична структура процесу ТОіР з визначенням місця людини в цьому процесі.

В загалі, існує декілька стратегій технічного обслуговування складних об`єктів [532,540,541]. Із них ми розглянемо лише дві, які вірогідно можуть бути самими досконалими:

- стратегії ТО за станом з адаптивною зміною періодичності контролю.
- стратегії регламентованого ТО.

Дійсна частина монографії присвячена розробці методики оптимізації параметрів стратегії технічного обслуговування за станом (ТОС) з адаптивною зміною періодичності контролю.

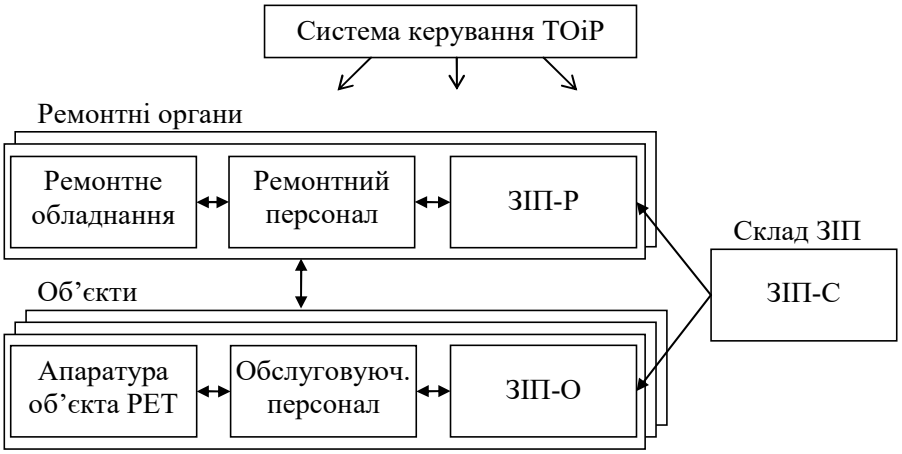


Рисунок 1. Типова структура процесу ТОіР складних об’єктів

Формалізований опис методики ТОС з адаптивною зміною періодичністю контролю

Завдання оптимізації параметрів стратегії ТОС з адаптивним зміною періодичністю контролю з урахуванням визначення запишемо у вигляді наступних співвідношень [540,541]:

$$T_0(E^*_{\text{то}}, U^*_{\text{то}}, \beta, \gamma^*) \geq T_0^{\text{тр}}; \quad (1)$$

$$c_{\text{уд}}(E^*_{\text{то}}, U^*_{\text{то}}, \beta, \gamma^*) \to \min, \quad (2)$$

де $E^*_{\text{то}}$, $U^*_{\text{то}}$ і γ^* - оптимальні значення параметрів стратегії, що визначаються;

β - постійна згладжування, вибір якої залежить від ступеня достовірності вихідних даних про надійність елементів об'єкта і безпосередньо не пов'язаний з

вибором параметрів ТО. Тому параметр β ми не включаємо в число оптимізуються параметрів стратегії і будемо величину β при вирішенні задачі (1,2) розглядати як константу. Завдання вибору параметра β розглядається окремо.

Підхід до вирішення завдання (1,2) в цілому аналогічний підходу до вирішення аналогічного завдання, що розглядалось авторами в [531,535], так як оптимізуються параметри $E^*_{\text{то}}$ і $U^*_{\text{то}}$ в обох задачах збігаються. Крім того, в обох задачах використовується одна і та ж імітаційна статистична модель (ІСМ), що є засобом отримання оцінок показників, прийнятих в якості цільових функцій. Тому структура алгоритму, що лежить в основі методики рішення задачі, така ж [541,542].

Алгоритм рішення задачі (1,2) наведено на рис. 2.

Оператори 1-3, 7, 9 і 10 повністю аналогічні відповідним операторам алгоритму, що розроблено авторами у роботі [540,543,544], тому їх опис повторювати не будемо.

Оператор 4 формує графіки функцій $u^+_{\text{то}k}(\gamma)$ і $c^+_{\text{уд}}(\gamma)$ в залежності від значення коефіцієнта γ . Коефіцієнт γ визначається, як відношення періодичності ТО до залишкової середньому наробітку до відмови об'єкта.

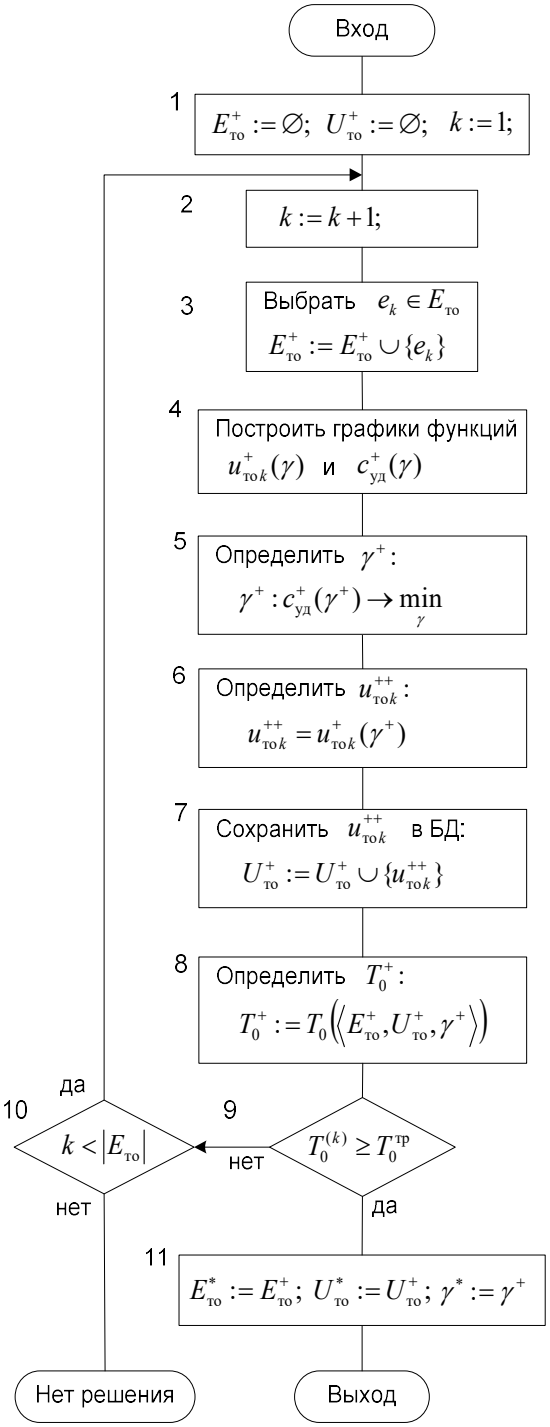


Рисунок 2. Алгоритм оптимальних параметрів стратегії ТОС з адаптивними змінами періодичності контролю

Функція $u^{+}_{\text{то}k}(\gamma)$ визначає залежність оптимального рівня ТО k-го елемента від коефіцієнта γ. Величина $u^{+}_{\text{то}k}(\gamma)$ визначається з умови:

$$u^{+}_{\text{то}k}(\gamma) : c_{\text{уд}}(E^{+}_{\text{то}}, U^{+}_{\text{то}}, \gamma) \to \min_{u_{\text{то}k}}, \tag{3}$$

де $U^{+}_{\text{то}} = \{u^{*}_{\text{то}1},...,u^{*}_{\text{то}k-1},u^{+}_{\text{то}k}\}$ - це безліч (вектор), в якому $u^{*}_{\text{то}1},...,u^{*}_{\text{то}k-1}$ - оптимальні значення рівнів ТО елементів $e_1,...,e_{k-1}$, знайдені в попередніх кроках, а $u^{+}_{\text{то}k}$ - оптимальний рівень ТО елемента e_k, задовольняє умові (2);

функція $c^{+}_{\text{уд}}(\gamma)$ - це питома вартість експлуатації, що отримується при оптимальному значенні рівня ТО $u^{+}_{\text{то}k}(\gamma)$:

$$c^{+}_{\text{уд}}(\gamma) = c_{\text{уд}}(E^{+}_{\text{то}}, U^{+}_{\text{то}}, \gamma). \tag{4}$$

Оператор 5 визначає оптимальне в поточному кроці (умовно оптимальне) значення коефіцієнта γ^{+}, задовольняє умові:

$$c^{+}_{\text{уд}}(\gamma^{+}) = \min_{\gamma} c^{+}_{\text{уд}}(\gamma). \tag{5}$$

Оператор 6 визначає оптимальне значення рівня ТО $u^{++}_{\text{то}k}$:

$$u^{++}_{\text{то}k} = u^{+}_{\text{то}k}(\gamma^{+}). \tag{6}$$

Оператор 7 величину $u^{++}_{\text{то}k}$ зберігає в базі даних (БД), тим самим готуючи БД до подальших розрахунках. На даній стадії розрахунків ми отримали умовно оптимальне рішення задачі:

$$\mathbf{STO}^{+}_{A} = \left\langle E^{+}_{\text{то}}, U^{+}_{\text{то}}, \gamma^{+} \right\rangle.$$

Оператор 8 визначає досягнуте в поточному кроці пошуку значення середнього наробітку на відмову об'єкта T_0^{+}:

$$T_0^{+} = T_0(\mathbf{STO}^{+}_{A}).$$

Оператор 9 перевіряє виконання умови $T_0^{+} \geq T_0^{\text{тр}}$. Якщо умова виконується, то виконується оператор 11, визначається остаточне рішення:

$$\mathbf{STO}^{*}_{A} := \mathbf{STO}^{+}_{A}.$$

Процес пошуку рішення на цьому завершується.

В іншому випадку, якщо $T_0^{+} < T_0^{\text{тр}}$, виконується оператор 10, який перевіряє, чи всі елементи з $E_{\text{то}}$ вже використані. Якщо ні ($k < |E_{\text{то}}|$), то оператор 10 передає управління оператору 2 для продовження процесу пошуку рішення.

Загальна технологія виконання завдання оптимізації стратегії ТОС

Поставлене завдання вирішується за допомогою програми ISMPN. На кожному кроці рішення задачі виконуються наступні дії:

1) формування поточної підмножини обслуговуються елементів $E_{\text{то}}^{+}$. На кожному кроці в підмножина $E_{\text{то}}^{+}$ додається один елемент з $E_{\text{то}}$;

2) пошук умовно оптимального рішення $\left\langle E_{\text{то}}^{+}, U_{\text{то}}^{+}, \gamma^{+} \right\rangle$, яке в ціломоу задовольняє вимогу (2);

3) перевірка виконання вимоги (1). Якщо вимога не виконується, перейти до п.1 і продовжити розв`язання задачі. Якщо вимога задовольняється, виконати наступний пункт методики;

4) прийняття отриманого на останньому кроці умовно оптимального рішення $\left\langle E_{\text{то}}^{+}, U_{\text{то}}^{+}, \gamma^{+} \right\rangle$ в якості остаточного рішення задачі $\left\langle E_{\text{то}}^{*}, U_{\text{то}}^{*}, \gamma^{*} \right\rangle$.

Дана методика відрізняється від розглянутої попередньої методики [543,544] рішення задачі (1,2) тільки пунктом 2. Тому детально в цій частині монографії розглянемо тільки методику виконання цього пункту.

Для проведення розрахунків необхідно відкрити програму ISMPN в режимі "Дослідження ТО варіювання **GAMMA+Тк."** Ввести параметри варіювання рівня ТО $u_{\text{то}k}$ і коефіцієнта γ. Як і раніше, для рівня ТО $u_{\text{то}k}$ рекомендується задати діапазон варіювання [529,530; 529,538] і інтервал варіювання - 0,05. для коефіцієнта γ на початку рекомендується задати діапазон варіювання [529,531; 530,534], після чого за результатами пробного моделювання підібрати параметри таким чином, щоб забезпечити надійну фіксацію мінімуму функції $c_{\text{уд}}^{+}(\gamma)$. Після введення параметрів варіювання натиснути кнопку "Почати" і зробити моделювання. На рис. 3. показано вигляд екрану персонального комп`ютера (ПК) після завершення розрахунків. За графіком функції $c_{\text{уд}}^{+}(\gamma)$ знайти оптимальне значення γ^{+}, що задовольняє умові (3). Згідно з графіком $u_{\text{то}}^{+}(\gamma)$ знайти відповідне йому оптимальне значення рівня ТО $u_{\text{то}}^{++}$ (2). Величини γ^{+} і $u_{\text{то}k}^{++}$ визначаються програмно, і їх значення відображаються праворуч з відповідними

графіками. отримані значення γ^+ і $u_{\text{то}k}^{++}$ приймаються в якості значень відповідних параметрів умовно оптимального рішення

$$\mathbf{STO}_A^+ = \left\langle E_{\text{то}}^+, U_{\text{то}}^+, \gamma^+ \right\rangle.$$

Досягнуте на поточному кроці значенням середнього напрацювання на відмову $T_0^+ = T_0(\mathbf{STO}_A^+)$ так само відображається на екрані ПК поряд з графіком $c_{\text{уд}}^+(\gamma)$.

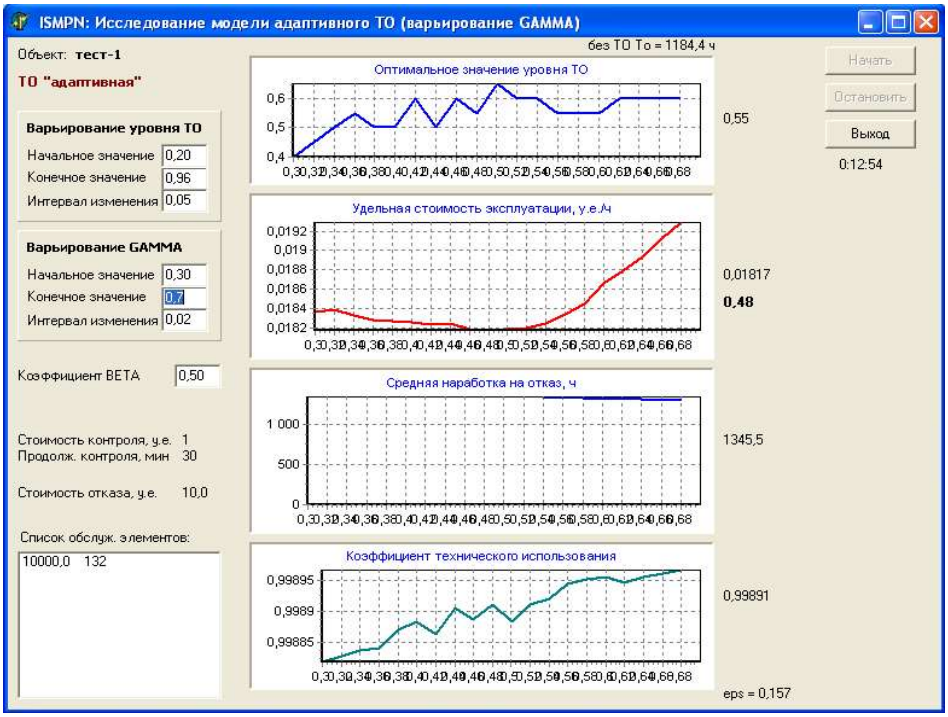


Рисунок 3. Вигляд экрану ПК з графіками функцій $u_{\text{то}}^+(\gamma)$, $c_{\text{уд}}^+(\gamma)$, $T_0^+(\gamma)$ та $K_{\text{ти}}^+(\gamma)$

Якщо умова $T_0^+ \geq T_0^{\text{тр}}$ не виконується, величина $u_{\text{то}k}^{++}$ зберігається в БД. Після цього виконується наступний крок пошуку. Значення $u_{\text{то}k}^{++}$ зберігається у векторі $U_{\text{то}}^+ = \{u_{\text{то}1}^*, ..., u_{\text{то}k-1}^*, u_{\text{то}k}^{++}\}$. При виконанні умови $T_0^+ \geq T_0^{\text{тр}}$ отримане в поточному кроці умовно оптимальне рішення $\left\langle E_{\text{то}}^+, U_{\text{то}}^+, \gamma^+ \right\rangle$ приймається в якості остаточного рішення задачі:

$$E_{\text{то}}^* := E_{\text{то}}^+;\ U_{\text{то}}^* := U_{\text{то}}^+;\ \gamma^* := \gamma^+,$$

тобто, приймається:

$\mathbf{STO}_A^* = \mathbf{STO}_A^+$.

Приклад застосування методики на простому об`єкті Test-1

Як приклад тестового об'єкта візьмемо відомий з роботи [540] і не складний об'єкт Test-1. Параметри моделювання для ІСМ задамо такі ж, як і в [540,543,544]. постійну згладжування β задамо рівній β = 0,5.

Розрахунки виконаємо в такій послідовності:

1). На 1-му кроці в безліч $E_{\text{то}}^+$ включимо елемент 132: $E_{\text{то}}^+ = \{132\}$.

2) .Відкриємо програму ISMPN в режимі" Дослідження ТО, варіювання **Uто+GAMMA"** і задамо наступні параметри варіювання:

- для $u_{\text{то}}$: $u_{\text{то}} \in [529{,}531;\ 529{,}538]$; $\Delta u_{\text{то}} = 0{,}05$;

- для γ : $\gamma \in [\gamma_1, \gamma_2] = [529{,}532;\ 529{,}535]$; $\Delta\gamma = 0{,}025$.

Після цього зробимо моделювання. На рис. 4. показано вигляд екрану ПК після завершення моделювання на 1-му кроці.

За графіком функції $c_{\text{уд}}^+(\gamma)$ знаходимо її мінімум і відповідне йому умовно оптимальне значення γ^+ . Потім за графіком $u_{\text{то1}}^+(\gamma)$ знаходимо умовно оптимальне значення рівня ТО для елемента 132 $u_{\text{то1}}^{++} = u_{\text{то1}}^+(\gamma^+)$.

В результаті отримуємо:

$\gamma^+ = 0{,}60$; $u_{\text{то1}}^{++} = 0{,}50$.

В результаті виконаних розрахунків на 1-му кроці отримуємо наступне умовно оптимальне рішення:

$\mathbf{STO}_A^+ = \left\langle E_{\text{то}}^+, U_{\text{то}}^+, \gamma^+ \right\rangle = \left\langle \{132\}, \{0{,}6\}, 0{,}5 \right\rangle$.

По графіку $T_0^+(\gamma)$ визначаємо досягається при цих параметрах середнього напрацювання на відмову $T_0^+ = 1346$ годин.

3) Як і раніше приймаємо, що для об'єкта Test-1 $T_0^{\text{тр}} = 1500$ годин. Так як в поточному кроці вимога $T_0^{+} \geq T_0^{\text{тр}}$ не виконується, будемо виконувати наступний крок.

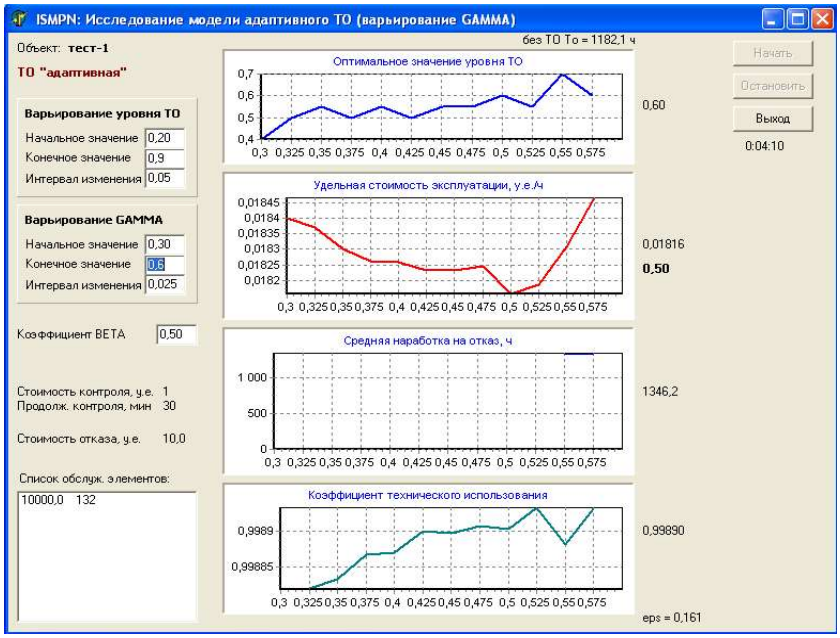


Рисунок 4. Графіки функцій $u_{\text{то}}^{+}(\gamma)$, $c_{\text{уд}}^{+}(\gamma)$, $T_0^{+}(\gamma)$ та $K_{\text{ти}}^{+}(\gamma)$ для $E_{\text{то}}^{+} = \{132\}(\nu_i = 1)$

Перш ніж перейти до виконання наступного кроку необхідно в БД зберегти останнім отримане значення рівня ТО u_{tol}^{++} (для елемента 132). Для цього потрібно перейти в режим "База даних" і зберегти дані.

На 2-му кроці аналогічним чином слід виконати такі дії.

4). У безліч $E_{\text{то}}^{+}$ додаємо елемент 12. В результаті отримуємо безліч $E_{\text{то}}^{+} = \{132, 12\}$.

4.1). Відкриваємо програму ISMPN в режимі "Дослідження ТО, варіювання **Uто+GAMMA"** і виконуємо розрахунки відповідно до розглянутої вище технологією. Після обчислень на 2-му кроці отримуємо наступне умовно оптимальне рішення:

$$\mathbf{STO}_A^{+} = \left\langle E_{\text{то}}^{+}, U_{\text{то}}^{+}, \gamma^{+} \right\rangle = \left\langle \{132,12\};\ \{0,6;0,65\}, 0,48 \right\rangle.$$

На 2-му кроці величина середнього напрацювання на відмову $T_0^+ = 1490$ годин.

4.2). Вимога $T_0^+ \geq T_0^{\text{тр}}$ як і раніше не виконується, тому потрібно продовжити обчислення.

4.3). У дослідницьких цілях зробимо обчислення і отримаємо результати для максимального числа кроків, рівного 5 (для всіх елементів множини $E_{\text{то}}$). Повні результати представлені в табл. 1.

Таблиця 1

Результати розрахунків оптимальних параметрів адаптивної стратегії ТОС для об`єкта Test-1 ($\nu_i = 1$)

Номер шага k	Условно оптимальные параметры $\mathbf{STO}_A^+$			Значения показателей, получаемые при условно оптимальных параметрах $\mathbf{STO}_A^+$			
	$E_{\text{то}}^+$	$u_{\text{то}\,k}^{++}$	γ^+	T_0^+, год	$c_{\text{уд}}^+$, у.е./год	$K_{\text{ти}}^+$	ε
1	{132}	0,60	0,50	1346	0,01816	0,99890	0,161
2	{132, 12}	0,65	0,48	1490	0,01613	0,99882	0,169
3	{132, 12, 11111}	0,55	0,45	1662	0,01408	0,99877	0,179
4	{132, 12, 11111, 131-1}	0,60	0,50	1814	0,01312	0,99871	0,184
5	{132, 12, 11111, 131-1, 131-2}	0,55	0,45	1990	0,01212	0,99868	0,193

Для об'єкта Test-1 задано вимога до рівня надійності $T_0^{\text{тр}} = 1500$ год. Тому за отриманими даними визначаємо наступні оптимальні параметри адаптивної стратегії ТОС:

$$\mathbf{STO}_A^* = \mathbf{STO}_A^+ = \langle \{132, 12, 11111\};\ \{0{,}6; 0{,}65; 0{,}55\};\ 0{,}45 \rangle.$$

При отриманих оптимальних параметрах $\mathbf{STO}_A^*$ забезпечуватимуться такі значення показників:

$T_0(\mathbf{STO}_A^*) = 1662$ год;

$c_{\text{уд}}(\mathbf{STO}_A^*) = 0{,}01408$ у.е./год;

$K_{\text{ти}}(\mathbf{STO}_A^*) = 0{,}99851$.

Відносна помилка результатів моделювання, при якій отримані ці результати, дорівнює $\varepsilon = 0{,}179$. Дане рішення було отримано за умови, якщо коефіцієнт варіації випадкової напрацювання до відмови для всіх елементів об'єкта однаковий і рівний 1.

Проробимо аналогічні обчислення для випадку, якщо коефіцієнт варіації для всіх елементів дорівнює 0,5. Всі результати розрахунків, отримані за умови $\nu_i = 0{,}5$, представлені в табл. 2.

Таблиця 2

Результати розрахунків оптимальних параметрів адаптивної стратегії ТОС для об`єкта Test-1 ($\nu_i = 0{,}5$)

Номер шага k	Условно оптимальные параметры $\mathbf{STO}_A^+$			Значения показателей, получаемые при условно оптимальных параметрах $\mathbf{STO}_A^+$			
	$E_{\text{то}}^+$	$u_{\text{то}\,k}^{++}$	γ^+	T_0^+, год	$c_{\text{уд}}^+$, у.е./год	$K_{\text{ти}}^+$	ε
1	{132}	0,60	0,54	1406	0,01726	0,99902	0,090
2	{132, 12}	0,55	0,50	1556	0,01526	0,99897	0,097
3	{132, 12, 11111}	0,55	0,53	1738	0,01328	0,99894	0,104
4	{132, 12, 11111, 131-1}	0,55	0,50	1896	0,01236	0,99889	0,107
5	{132, 12, 11111, 131-1, 131-2}	0,55	0,45	2089	0,01146	0,99882	0,112

За отриманими даними визначаємо оптимальні параметри адаптивної стратегії ТОС при $\nu_i = 0{,}5$:

$$\mathbf{STO}_A^* = \mathbf{STO}_A^+ = \langle \{132,12\};\ \{0{,}6;0{,}55\};0{,}5 \rangle.$$

При отриманих оптимальних параметрах $\mathbf{STO}_A^*$ забезпечуються наступні значення показників:

$T_0(\mathbf{STO}_A^*) = 1556$ год;

$c_{\text{уд}}(\mathbf{STO}_A^*) = 0{,}01526$ у.е./год;

$K_{\text{ти}}(\mathbf{STO}_A^*) = 0{,}99897$. ($\varepsilon = 0{,}097$)

На рис. 5 наведені отримані нами графіки функцій показників T_0^+ і $c_{уд}^+$ в залежності від кількості обслуговуваних елементів $n(E_{то}^+)$. Ці графіки практично аналогічні графіками, отриманим для стратегії ТОС з постійною періодичністю контролю, що отримані авторами в роботі [541]. Тому зроблені раніше висновки про вплив коефіцієнта варіації напрацювання до відмови елементів повністю поширюються і на випадок адаптивної стратегії ТОС.

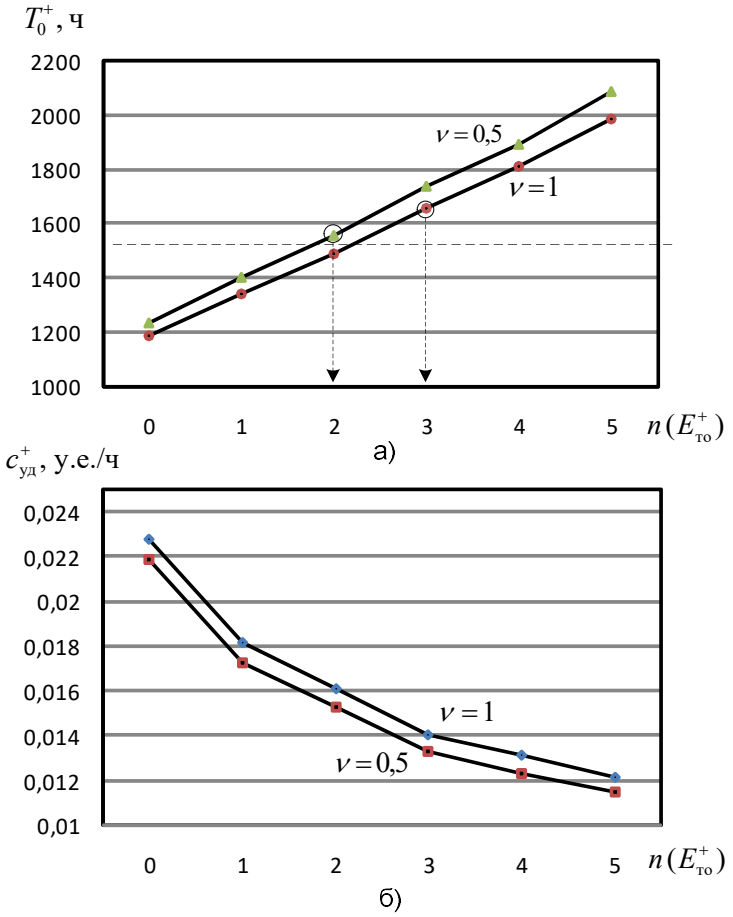


Рисунок 5. Графіки залежності показників T_0^+ та $c_{уд}^+$ від числа елементів, які обслуговуються $n(E_{то}^+)$ при різних значеннях ν_i (об`єкт Test-1)

Тобто, наведені данні, що отримані в експерименті по перевірці застосування методики оптимізації параметрів стратегії технічного обслуговування за станом складних об`єктів техніки з адаптивною зміною

періодичності контролю, показали їх достатньо високу ефективність і можуть бути рекомендовані для застосування ТОіР складних об`єктів техніки в процесі їх експлуатації.

Розроблена методика дозволяє автоматизувати процес оптимізації параметрів [546,547], що є дуже доречним для об`єктів техніки невисокої чи середньої відповідальності.

Висновки

1. В дійсній частині монографії розглянута одна із важливих і до кінця не вирішених проблем: забезпечення надійності експлуатації складних об`єктів техніки і продовження їх технічного ресурсу.

2. Розроблена методика оптимізації параметрів стратегії технічного обслуговування за станом складних об`єктів техніки з адаптивною зміною періодичності контролю.

3. При виконанні наукової задачі використана імітаційна статистична модель через неможливість моделювання іншими методами.

4. Розглянуті основні аспекти застосування вбудованих систем технічної діагностики, аналізу деградації відмов, а також технічного обслуговування і ремонту об`єктів.

4. Данні, що отримані в експерименті по перевірці застосування методики оптимізації параметрів стратегії технічного обслуговування за станом складних об`єктів техніки з адаптивною зміною періодичності контролю, показали їх достатньо високу ефективність і рекомендуються до застосування в процесі експлуатації.

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ

БД	база даних
ЗІП	запасний елемент, інструмент та приладдя
ІСМ	імітаційна статистична модель
КР	капітальний ремонт
ПР	поточний ремонт
ПЛР	плановий ремонт
ПК	персональний комп`ютер
РО	ремонтний орган
СР	середній ремонт
СТД	система технічного діагностування
ТО	технічне обслуговування
ТОіР	технічне обслуговування і ремонт
ТОС	технічне обслуговування за станом

SECTION 9. MECHANICAL ENGINEERING AND MECHANICAL ENGINEERING

DOI 10.46299/ISG.2021.MONO.TECH.II-560-564

9.1 Studying the properties of steel for sidewalls of chute conveyors

Premature destruction of chute conveyor pans leads to reduction in coal production and creates conditions for the emergence of accidents.

Studies of worn surface of pans showed that chutes, and in particular, the sidewalls during operation are subjected to abrasion. The hardness of the material determines the value of mutual implementation of microscopic irregularities of the rubbing surfaces. The authors of papers [548, 549] have established the relationship between the hardness and wear resistance of the test material. The operating conditions set high demands to the material the pans are made of in respect of strength and durability.

Currently the chutes are made of steel BRK, which is supplied from the metallurgical plant «Azovstal». Statistics show that the duration of operation of pans SP-87P, and KM-81-025M is 6-9 months and during that time the transportation of only 300-400 tons of coal at a rate of 650 thousand tones is provided. In this case, basically, the term of pan service is defined by the resistance of the sidewall.

In connection with the above, the objective of the present study was the choice of material for sidewalls of pans by comparing the properties of the applied and proposed grades of steel. For this purpose, the level of properties, microstructure of sidewalls after the heat treatment, heat treatment and welding (it is the order the technological operations are performed in the manufacture of pans) is subject to analysis.

Steel BRK and steel 18ChGT and 20ChGNB, the chemical composition of which is shown in table 1, were used as the material of the given study.

Table 1.

Chemical composition of investigated steel

Grade of steel	Composition of elements, %								
	C	Mn	Si	Cr	Ni	Ti	B	S	P
Steel BRK	0,29	0,97	0,20	–	–	–	–	0,027	0,027
Steel 18ChGT	0,18	0,97	0,30	1,25	0,17	0,050	–	0,019	0,022
Steel 20 ChGNB	0,20	0,79	0,30	1,05	1,02	–	0,005	0,018	0,021

The methodology of the study was to measure the hardness, strength indicators, and investigate the microstructure. As between the hardness and wear resistance there is direct relationship, according to hardness indicators there can be estimated the performance characteristics of sidewalls of pans.

The results of study of steel BRK showed that in the hot-rolled state (before heat treatment) the hardness values distribution across the perimeter and the cross section of the profile is about 15 HB, and the ultimate tensile strength and the yield strength respectively 27 and 36 MPa. The microstructure of steel is ferrite-pearlite.

After heat treatment, including quenching from 850-870 °C in water and tempering at 200°C, the sidewalls pans made of steel BRK, there is observed a considerable distribution of hardness across the cross section of the profile, cut from the pan of current production (Fig. 1). Thus, at the edges of the minor and major flanges, the thickness of which is 9 to 12 mm, the hardness is respectively 444-777 and 320-340NV. In areas of transition of minor and major flanges into the profile wall, wherein the thickness increases by approximately 2 times, the hardness is respectively reduced to 217 ... 223 HB (Fig. 1a).

An even greater decrease in hardness is observed with increasing the distance from the edge of the profile (in length). So, at a distance of 300 mm from the edge (the distance the specified hardness should be provided at), the latter is slightly different from the hardness of hot-rolled profiles and is only 166-217 HB (Fig. 1b).

The obtained after appropriate heat treatment in laboratory conditions results of mechanical properties measurement indicate that on steel BRK after quenching and tempering at the temperature of 200 °C and 400 °C there not provided both the required

absolute values and the uniform distribution of strength properties of hardness and the uniformity of the microstructure along the cross section of the profile.

If, after quenching and low tempering the temporary resistance to the tensile strength constitutes 765-1040 MPa (range of strength values is 275 MPa), then after tempering at the temperature of 400°C, the level of tensile strength decreases mainly due to the reduction of the upper limit of 706-905 MPa (distribution of strength values is equal to 199 MPa). Similarly, the yield strength changes as well. The level of the temporary tensile strength values is less than the desired one. It is necessary that the tensile strength should not be less than 1275 MPa.

A solid plank is welded (from the broken surface) to the middle part of the profile. The study showed that the heating temperature of the sidewall portion of pan, located closest to the welding point, is 300 °C. On the same section the metal in the middle (trough-the-thickness) of the profile is heated to about 330° C, and on the surface, somewhat farther from the weld zone, to 250 ° C. The minimum heating temperature is observed on the shelf and it constitutes 120 °C.

Comparison of the mechanical properties and microstructure of profiles after machining, including quenching and tempering at 400 °C as well as heat treatment and welding revealed that heating of metal during the welding process does not significantly affect the level of hardness, the strength properties of steel and its microstructure.

However, after welding as well as after heat treatment in the cross section and along the length there is observed a large spread in values of properties. As a consequence, the profile of the pan sidewall has low durability in operation. The reason for this phenomenon is the low hardenability of steel. So, it is necessary to use steel to obtain higher hardenability, which is achieved by the introduction of alloying elements, which shift the chart of isothermal decomposition of austenite right wardsand reduce the critical quenching rate.

Thus, there were carried out studies on the sidewalls of pans, made of steel 18ChGT and 20ChGNB. In the hot rolled state the structure of steel 18HGT is ferrite-

pearlite and that of steel 20ChGNB is bainite and separate parts of ferrite have the form of a torn grid along the grain boundaries.

The temperature rolling mode: at the beginning 1150-1160 °C, at the end of rolling- 970-990 °C, the rolling speed – 2.3 m/s.

Hardness in the hot rolled state of the profile made of steel 20ChGNB is 241-262 HB, and that made of steel 18ChGT is below 10-20 HB. Given the complexity of the geometric shape of the profile and the possibility of its warpage during heat treatment, there was investigated the level of properties, achieved by quenching in a "soft" medium, namely in oil. Studies were carried out simultaneously under cooling in water after tempering. Heat treatment significantly changed the level of properties and the microstructure of steel investigated.

In steel 20ChGNB, alloyed with boron, after quenching in oil the temporary resistance to tensile strength is at the level of 1430-1440 MPa and the hardness is 35-39 HRC. Steel 18ChGT is significantly inferior in strength compared to steel 20ChGNB properties after quenching in oil. The ultimate strength is 1030-1020 MPa, the yield strength by 300-350 MPa, and the hardness by 7-8 HRC is less than in steel 20ChGNB.

After water quenching and tempering at 200 °C the tensile strength of steel 20ChGNB equals to 1480-1550 MPa, the hardness is 42-45 HRC, and that of steel 18ChGT is respectively 1385-1470 MPa and 36-43 HRC. Fig. 2 shows a histogram of mean values of the ultimate tensile strength of steel BRK, 20ChGNB and 18ChGT after quenching in water and tempering at 200 °C.

Increasing the tempering temperature to 400 °C leads to a slight weakening of steel, which does not exceed 5.10 % in relation to the tempered state. Studies of hardness after quenching, tempering at 300 °C, and welding of the support strap and side walls, bottom and sidewalls showed a slight reduction in hardness compared with a hardened state.

Fig. 1 shows the hardness in the cross section of the pan sidewall made of steel 20ChGNB after heat treatment and welding. The results obtained indicate that after achieving sufficient hardness after quenching in the cross-section of the profile,

subsequent welding of the hardened profile leads to softening of worn areas as a result of operation no more than by 3,2%.

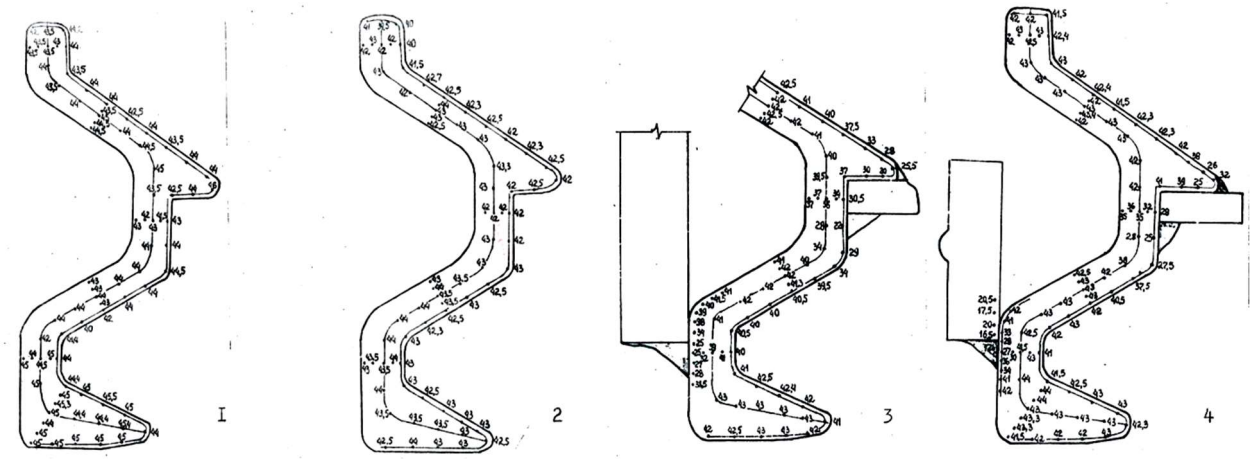


Figure 1. Hardness (HRC) in the cross-section of the pan sidewall made of steel 20ChGNB after heat treatment and welding: 1 - quenching from 880 °C; 2 - quenching from 880 °C + tempering at 300 °C; 3 - quenching from 880 °C + welding; 4 - quenching from 880 °C + tempering at 300 °C + welding.

Profiles made of steel 20ChGNB at quenching in oil provide a higher level of properties than the profiles made of steel 18ChGT. At welding, which is one of fabrication processes of manufacturing the sidewalls of pans, made of steel 20ChGNB, with other parts of pans, softening of sections that are subject to wear does not exceed 2-3 HRC. On the basis of the above studies steel 20ChGNB should be recommended for the manufacture of the sidewalls of pans.

DOI 10.46299/ISG.2021.MONO.TECH.II-565-576

9.2 Surfaces' roughness of composite bearings based on grinding waste for printing machines units at fine cubonite grinding

The development of the printing industry requires the creation of such machines, which must provide high requirements for the parameters of their reliability and, above all, to high wear resistance, durability and maintainability. The speeds of the working bodies are constantly increasing when the parts' rotational speeds of the friction pairs reach the level of 800−1000 rpm and above, and the load increases to 5.0 - 7.0 MPa. This leads to the appearance of friction temperatures from 300 to 500°C on the working surfaces, which creates extreme conditions for the operation of printing machines [550-557]. Such conditions require special approaches to ensure the reliability of printing equipment and increase its maintainability.

So, according to the data of the largest in Ukraine State Publishing House "Press of Ukraine", the service life of sliding bearings made of cast bronze BrAZh9-4 is only 0.5−1.0 years in the friction units of printing machines KBA Rapida - 105, "PLAMAG Rondest RO 170", "STAR BINDER 1509", etc., which operate at high speeds and increased loads. Such service life is associated with the imperfection of existing technologies for the manufacture of plain bearings and their subsequent finishing [550-557].

Requirements for friction parts' surfaces high quality are constantly increasing. These are due to the continuous increase in important operating parameters of printing equipment and, above all, lengthen of parts service life, mechanisms and machines in general.

Recently, new bearing composite materials based on grinding waste of alloyed tool steels 7HG2VMF, 86H6NFT and others with CaF_2 solid lubricant additives were synthesized to significantly increase the service life of friction units in rotary printing machines [552, 553]. These are metal grinding wastes of machine-building and tool-making industries, which are taken to the dump because of their abrasive contamination and are not used in the repeated cycle of production. Such specified waste contains a significant number of valuable alloying elements, such as W, Mo, V, Co, Al, Ti, Cr,

Nb, etc. After proper processing, these wastes can be used in the further production cycle in particular for the production of effective slide bearings, as initiated by the authors [550, 552, 553]. The authors [550–557] developed a technology for the synthesis of new composite bearings from recycled raw materials, which also included a comprehensive technology for this waste regeneration.

Studies have demonstrated that the developed composite bearings based on steel grinding waste can be successfully operated at speeds up to 1000 rpm and specific pressures up to 5 MPa [550-557]. Whereas the friction processes analysis has shown that the wear rate of the friction surfaces is determined by the working surfaces' initial quality parameters.

However, the technological processes of finishing such new composite parts for printing machines are currently insufficiently studied.

Only recently the technological processes of working surfaces' fine abrasive grinding and magnetic abrasive processing (MAP) of sliding bearings made of new composites have been studied in detail and acquired normative regulations [558–561]. The MAP and fine abrasive grinding processes have been studied in sufficient detail from the point of view of optimizing the surface quality parameters [550, 558–560]. As a result of the performed research, important for the industry recommendations on the use of abrasive tools and processing modes were obtained, which guarantee obtaining the necessary surface quality parameters, such as surface roughness, depth and degree of hardening, distortion of the second kind, values of residual stresses and depth of their location near the surface layer. These characteristics should provide the necessary service life and durability of new composite bearings based on grinding waste for printing machines.

It should be noted that the studies were performed taking into account the concurrent processes that accompany the fine chips cutting with abrasive grain from the surface. Namely, the surface layer's strengthening due to the force field (cutting forces components Px, Py, Pz) and the subsequent "rest" phenomenon of the surface layers distorted by the cutting forces under the instantaneous contact temperatures T°C action were taken into account [550, 558–560].

Based on the performed research it was proved that the further improving the surfaces quality of new bearings it is possible only by application of the superfine abrasive processing such as cubonite grinding processes.

Unfortunately, the fine cubonite grinding processes of new self-lubricating composite bearings based on tool steels grinding waste with CaF_2 solid lubricant additions have not been sufficiently studied.

Today there is enough information on the use of fine grinding for special difficult-to-machine materials using grinding tools based on cubic boron nitride CBN (KNB-cubonite, domestic abbreviation) in the scientific and technical literature [558, 559]. These data illustrate the high quality parameters of the processed surfaces due to the cutting properties of cubonite [558, 559].

Scientists and practitioners of leading machine-building enterprises have proven that the use of cubonite tools allows obtaining surface quality parameters that are not inferior to those obtained using honing.

However, the cubonite grinding processes of bearings made of new high-alloy wear-resistant composite materials still remain unexplored.

The lack of clear recommendations for fine cubonite grinding of difficult-to-process and high-alloy composite materials leads to an increase in the number of technological grinding schemes, which are not always optimal. This requires from scientists and practitioners to comprehensively investigate the fine cubonite grinding processes of plain bearings made of new composite materials based on tool steels grinding waste, and on this basis to create typical technological processes for printing engineering that illustrates the relevance of the research topic.

The objective of this work was to study the surface roughness parameters at fine cubonite grinding of new self-lubricating composite bearings based on 7HG2VMF and 86H6NFT regenerated tool steels grinding waste with CaF_2 solid lubricant additives, and to establish the influence of the grinding wheel's grain size, the type of tool bond and the main cutting modes on the new composite bearings' surface quality parameters.

The objects of the study were the fine cubonite grinding processes and their influence on the quality parameters of the composite bearings' working surfaces.

The subject of the study were samples of self-lubricating composite bearings based on 7HG2VMF and 86H6NFT steels grinding waste with CaF_2 solid lubricant additives. Experimental studies were performed according to the method [558−560], the results of which have been presented in Table 1.

Table 1.

Roughness parameter Ra for fine cubonite grinding of bearing composite material 7HG2VMF + 5% CaF_2 [553]

Cross feed, Scf, mm/double stroke	Product speed (longitudinal feed), Vp, m/min	Grinding depth t, mm		
		0.002	0.01	0.05
		Ra, μm		
0.1	2	0.269	0.347	0.680
	5	0.319	0.396	0.714
	10	0.325	0.418	0.860
0.2	2	0.349	0.425	0.929
	5	0.405	0.414	1.053
	10	0.409	0.507	1.207
0.5	2	0.536	0.788	1.570
	5	0.621	0.874	1.793
	10	0.645	0.950	1.015
1.0	2	0.816	0.949	2.095
	5	0.922	1.070	2.405
	10	1.028	1.150	2.615

Note: Machine - FF-350 "Abawerek" (Germany), abrasive - KBNM14Br on bakelite-rubber bond, wheel speed - 22 m/sec, processing - without cooling.

Data analysis Table 1 shows that the roughness parameter Ra changes with the change of the machining factors, namely, the grinding depth t, the cross feed Scf and the longitudinal feed Vp.

Processing of experiments using the Student's method showed that the studied aggregates are significantly different in the case of dependent variables for the processed samples at fixed values of two variables (eg, longitudinal feed-product speed Vp, cutting depth t) and a variable third value (eg, cross feed Scf).

Similar results were obtained when comparing any samplings for cross feeds of 0.1−1.0 mm/double stroke and product speeds of 2−10 m/min. When the difference between the compared samplings' feed rates and the difference between the product's

speeds increases the difference between the tabular and calculated Student's distribution also increases.

This allows us to conclude that with fine cubonite grinding there is a relationship between the surface roughness parameter Ra and the cutting depth t: Ra = f(t), at Scf = const, Vp = const.

Using the mathematical statistics methods, it is easy to show that there is a relationship between the parameter Ra and the cross feed Scf when Ra = f (t) at t = const and Vp = const.

A similar statistical relationship exists between the roughness parameters Ra and the product's speed Vp when Ra = f (t) at Scf = const. and t = const.

A similar statistical relationship exists between the roughness parameters Ra and the product's speed Vp when Ra = f (t) at Scf = const. and t = const.

The multiple correlation equations for pair dependences were obtained for pairs such as Ra − t; Ra − Scf; Ra − Vp; Scf − t; t − Vp; Scf − Vp.

The calculations show there is a close linear relationship between the factors Ra, Scf, Vp and t. Formal mathematical analysis shows that between the factors Scf − t; t – Vp and Scf – Vp connection is absent.

The obtained correlation coefficients r_c are far from 1. This indicates the roughness parameter Ra is influenced by other factors in addition to the factor for which r_c was determined. The value of the correlation coefficients indicates the influence level of the studied factors on the surface roughness.

The multiple correlation equation for the studied factors has the form:

$$Ra = 0.2595 \times Scf + 5.2 \times t + 0.0051 \times Vp - 0.047 \qquad (1)$$

Analysis of formula (1) shows the cutting depth t and the cross feed Scf have the greatest effect on the roughness parameter Ra, the product speed Vp the has the least effect.

This model accuracy can be improved by dividing the entire range of plane grinding modes into two groups:

1st group:

- the cross feed Scf = 0.01−0.04 mm/double stroke;

- the grinding depth t = 0.002−0.01 mm;
- the product speed Vp = 2.0−5.0 m/min.

2nd group:

- the cross feed Scf = 0.5−1.0 mm/double stroke;
- the grinding depth t = 0.02−0.05 mm;
- the product speed Vp = 6.0−17.0 m/min.

After some transformations, equation (1) can be transformed and take the form:

1st group:

$$Ra = 0.2593 \times Scf + 5.22 \times t + 0.0051 \times Vp - 0.0037 \quad (2);$$

2nd group:

$$Ra = 0.2593 \times Scf + 5.22 \times t + 0.0052 \times Vp - 0.054 \quad (3).$$

The Ra values calculated by formulas (2) and (3) differ from the experimental ones by 12–15%, which allows us to use the formulas for practical calculations.

For example, knowing the specific values of Scf, t and Vp for a specific abrasive tool, it is possible to approximately determine what the Ra parameter will be and evaluate the acceptability of the cubonite grinding selected modes in terms of the requirements for bearings.

The obtained conclusions are confirmed by fine cubonite grinding with the wheels of different grain size M50, M28, M14 and M7. The corresponding experimental data have been shown in Table 2.

Table 2

Influence of tool grain size on the Ra surface roughness parameter at fine flat cubonite grinding of composite bearing blanks based on tool steel waste [558, 560]

Abrasive wheel	Composition, wt. %	
	86H6NFT +5%CaF_2	7HG2VMF +5% CaF_2
	Ra, μm	
KNB10Br1	0.894	0.905
KNB 5Br1	0.830	0.870
KNB 28Br1	0.248	0.778
KNB 20Br1	0.215	0.655
KNB 14Br1	0.195	0.209
KNB 10Br1	0.177	0.183
KNB 7Br1	0.159	0.162

63CM14Gl (WGC14Gl)	0.619	0.671
63CM7Gl (WGC7Gl)	0.360	0.362

Note: Machine - FF-350 "Abawerk" (Germany); grinding modes: wheel speed −22 m/sec, longitudinal feed (product speed) –2 m/min; cross feed 0.1 m/double stroke; processing –without cooling.

Data analysis of Table 2 allows us to draw important practical conclusions that cubonite wheels with a grain size of 7 μm provide the smallest surface roughness Ra in the investigated range of 7−100 μm grain sizes for a cubonite tool. These results can be explained by the grinding theory general positions [558, 560, 563].

An increase in surface roughness with an increase in grain size is due to an increase in the $\mathbf{a_z}$ section of the metal layer cut.

The improvement of roughness with grain size minimization is explained by the fact that cubonite grains have a rather sharp shape (sharpening angle at the grain top) and the smallest rounding radius of a single grain in comparison with electrocorundum and monocorundum grains (Table 3).

Table 3.

Average values of cutting grain angle geometry for different abrasive materials [9−13]

Abrasive material	Abrasive wheel, foreign analogue (BS EN 12413, BS ISO 525)	Grain top geometry	
		Rounding radius, ρ, μm	Angle at the top, deg.
Natural diamond, D	A10/8 A6/5 AM14/10 (WD10; WD6; WD14)	2.8 2.3 1.6	78.1 73.3 70.2

Synthetic diamond SD	AS10/8 AS6/5 ASM14/10 (WSD10; WSD6; WSDM14)	2.2 1.1 0.7−0.8	57.4 52.2 49.5
Cubic boron nitride, KBN (CBN)	KNB10/8 KNB6/5 KNBM14/10 (WCBN10; WCBN6; WCBN14)	2.5 1.3 0.9−1.1	59.0 54.0 51.0
Green silicon carbide, GC	63S10 63SM28 63SM14 (WGC10; WGC28; WGC14)	7.5 2.3 2.0	95.1 92.1 90.6
White electrocorundum, 23A	23A10 23AM28 23AM14 (W23A10; W23A28; W23A14)	9.5 2.7 2.4	98.3 94.7 92.5

As a result of experimental data mathematical processing, a correlation equation was obtained for the relationship between the roughness parameter Ra and the grain size A for a tool made of KNB cubic boron nitride, which has the form:

$$Ra = 0{,}0053A - 0{,}0071 \qquad (4)$$

Thus, knowing the cubonite wheel grain size A, we can calculate the roughness parameter Ra and make sure the selected tool will ensure the requirements for the quality of the plain bearings' working surfaces.

This greatly simplifies the grinding tool rational choice in the development of technological processes.

It was also important to establish the influence of the abrasive wheel bond type on the new composites' surface roughness parameter Ra in addition to studies of the abrasive tool grain size influence. The results of this study have been shown in Table 4.

Table 4.

Influence of cubonite wheel's bonding material on the surface roughness parameter Ra of composite samples 86Х6НФТ + 5% CaF_2 during flat grinding.

Abrasive tool characteristics	Wheel's bonding material	Roughness parameter Ra, μm
KNB5B1	Bakelite B1	0.918
KNB5Br1	Bakelite-rubber Br1	0.850
KNB5K1	Ceramic K1	1.201
KNB5M1	Metal M1	1.179
KNBM28B1	Bakelite B1	0.289
KNBM28Br1	Bakelite-rubber Br1	0.245
KNBM28K1	Ceramic K1	0.485
KNBM14B1	Bakelite B1	0.225
KNBM14Br1	Bakelite-rubber Br1	0.195
KNBM14K1	Ceramic K1	0.370
KNBM10Br1	Bakelite-rubber Br1	0.175
KNBM7Br1	Bakelite-rubber Br1	0.157

Note: Machine FF-350 "Abawerk" (Germany); grinding modes: wheel speed −22 m/sec, longitudinal feed (product speed) –2 m/min; cross feed 0.1 m/double stroke; processing –without cooling.

Analyzing the data in Table 4, it is seen that the best values of the surfaces' roughness parameters Ra provide cubonite wheels on the bakelite-rubber bond Br1 at the fine grinding of the bearings made of new composites based on tool steels waste. This can be explained by its greater elasticity. Therefore, at the cutting of the cutting grain into the metal, each grain is damped in the direction of the resilient-elastic bonding material under the action of the cutting forces components during grinding. This causes an actual reduction in cutting depth. Therefore, the conditions for the formation of the surface roughness change and, as a consequence, the roughness parameter Ra decreases. This parameter is one of the most important factors that characterizes the surface quality after fine cubonite grinding and contributes to a significant increase in wear resistance and friction pair reliability [558−562].

The above conclusions are made based on the analysis of the actual data received at the experimental research with use of bonds wide range (bakelite, ceramic, metal, bakelite-rubber) and a cubonite wheel granularities of 100, 28, 10 and 7 μm.

Taking into account that the physical phenomena in the process of metal cutting are fundamentally similar for flat, outer round and inner round grinding, experimental studies of fine cubonite grinding were performed taking into account the above results.

Thus, for experiments, only KNB cubonite tools with a grain size of 14–28 μm were used, which were formed into grinding wheels by a bakelite-rubber bond Br1.

External fine round grinding was performed on a precision machine AS-250 "Werkzojt" (Germany), and for internal grinding the precision internal-grinding machine of ultra-high precision SS-125 "Studder" (Switzerland) was used.

The main results of the study at the fine round external cubonite grinding and fine round internal grinding have been presented in Fig. 1, 2 for the bearing composite 86H6NFT + 5% CaF_2 based on steel grinding waste.

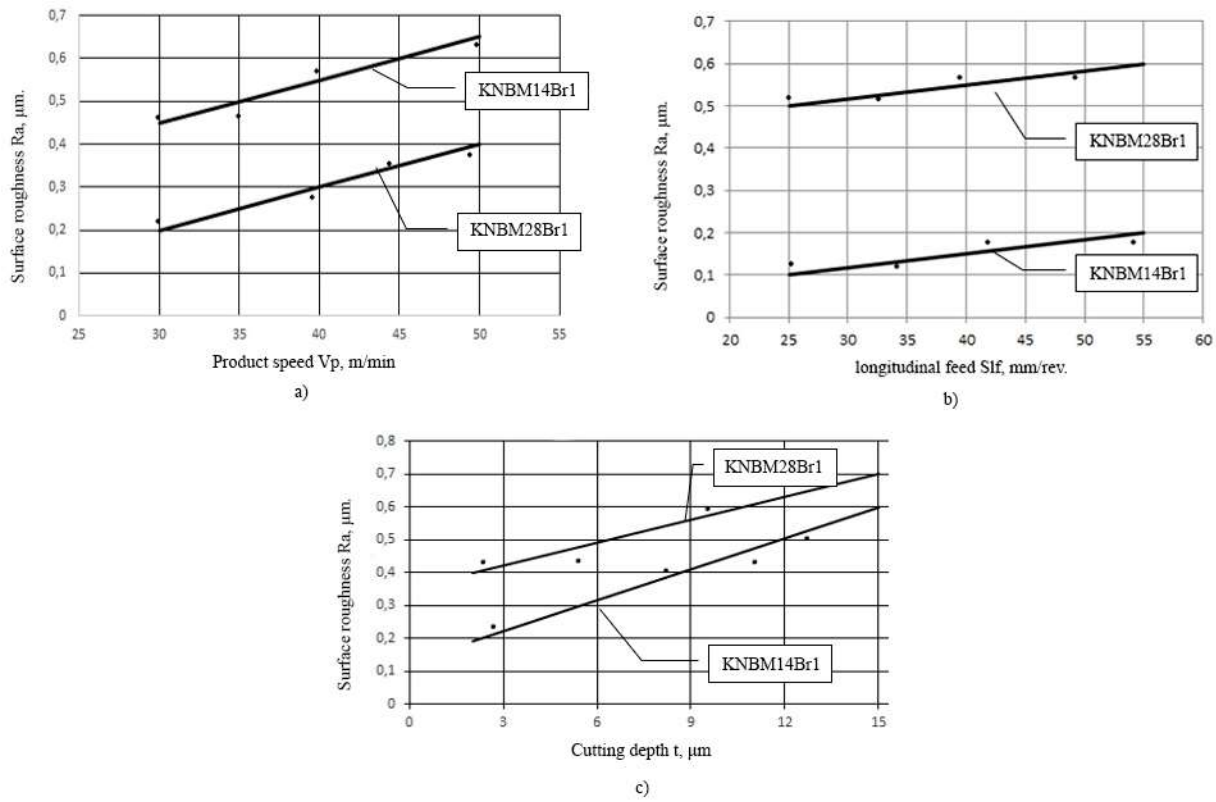


Figure 1. Dependence of surface roughness parameters Ra on the modes of fine cubonite grinding Vp, S_{lf} and t at external round grinding (cubonite wheel speed - Vw = 35 m/sec): a) S_{lf} = 5 mm/rev.; t = 2 μm; b) Vp = 30 m/min; t = 2 μm; c) Vp = 30 m/min; S_{lf} = 5 mm/rev.

Experiments analysis shows (Fig. 1) the speed of the product Vp, longitudinal feed S_{lf}, cutting depth t, abrasive grain size and the cubonite tool bond composition most affect the surface roughness of new composite materials at a fine outer round cubonite grinding.

Similarly to flat cubonite grinding, the best surface quality (high roughness parameter Ra) for fine round external cubonite grinding of composite cylindrical parts is provided by the use of tools based on KNB cubonite on a bakelite-rubber bond (Br1) with a grain size of 14 −28 μm (M14− M28) and the fine grinding modes application such as Vb → min; Sp → min; t → min.

Analogous results were obtained at a fine round internal cubonite grinding of the plain bearings' working surfaces from new composite materials based on tool steels waste (Fig. 2).

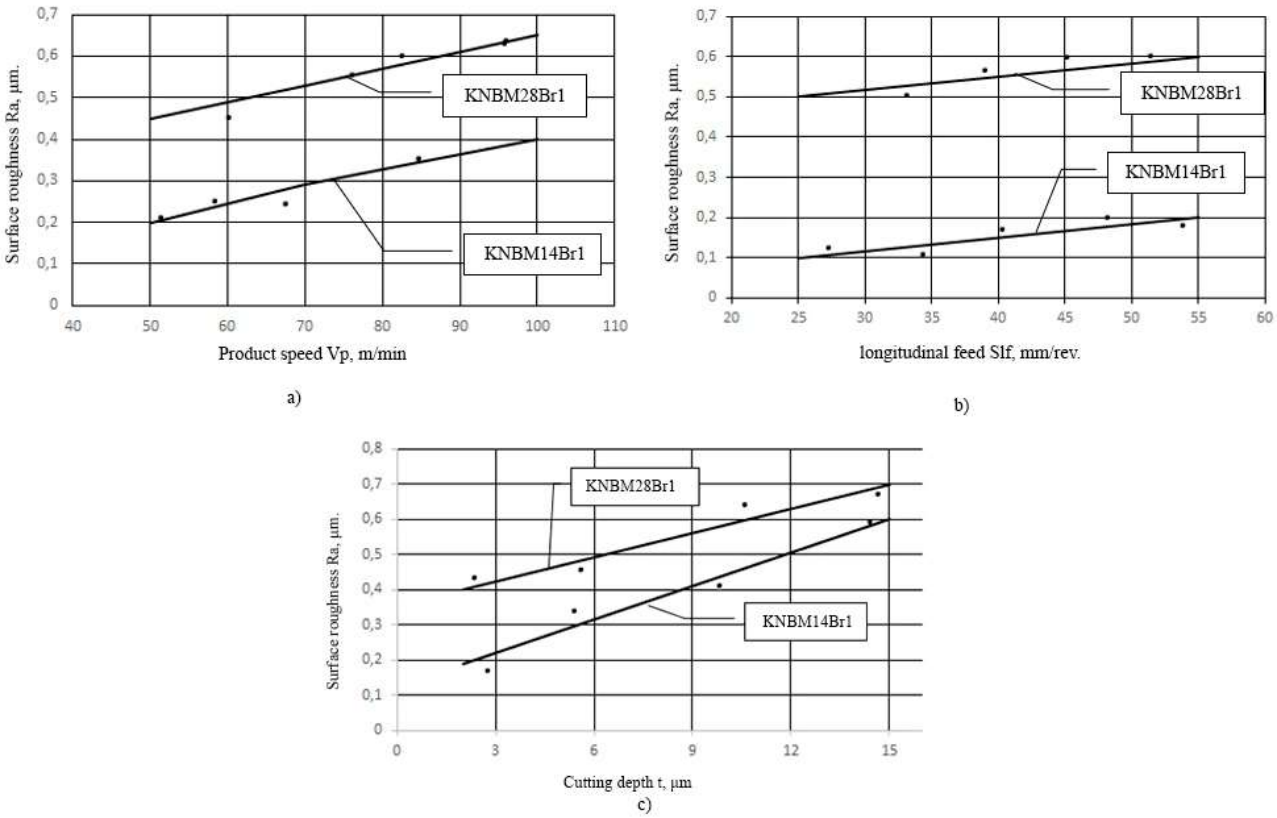


Figure 2. Dependence of surface roughness parameters Ra on the modes of fine cubonite grinding Vp, S_{lf} and t at internal round grinding (cubonite wheel speed - Vw = 50 m/sec): a) S_{lf} = 30 mm/rev.; t = 2 μm; b) Vp = 50 m/min; t = 2 μm; c) Vp = 50 m/min; S_{lf} = 30 mm/rev.

The Fig. 2 analysis shows the depth of cutting **t**, the longitudinal feed S_{lf} and the part's rotation speed **Vp** have the greatest influence on the surface roughness parameter Ra during round internal cubonite grinding of composite parts using cubonite KNB wheels with a grain size of 14−28 μm on bakelite-rubber bond Br.

Summarizing the complex of the performed studies, it is necessary to draw important scientific and practical conclusions.

1. The features of fine cubonite grinding of new composite bearings based on utilized and regenerated tool steels grinding waste have been investigated.

2. It is shown the main regularities coincide with flat, round external and internal cubonite grinding of new composite parts.

3. It is proved the grain size, the material of the cubonite wheel and the fine cubonite grinding modes significantly affect the surface roughness parameter Ra.

4. It is shown the best roughness parameters Ra are provided with the use of cubonite grinding wheels (CBN) with a grain size of 14−28 μm on a bakelite-rubber bond and the following cutting modes, namely:

− for flat cubonite grinding: wheel speed − 22 m/sec, longitudinal feed − 2 m/min, cross feed − 0.1 mm/double stroke and cutting depth − 2 μm;

− for external round cubonite grinding: wheel speed −30−45 m/sec, product speed−30 m/min, longitudinal feed − 30 mm/rev, cross feed − 0.1 mm/double stroke and cutting depth − 2 μm ;

− for internal round cubonite grinding: wheel speed − 40−45 m/sec, longitudinal feed − 50 m/min, cross feed −30 mm/rev and cutting depth − 2 μm.

5. The obtained results show the use of cubonite grinding provides the working surfaces' high quality of new composite bearings based on regenerated tool steels grinding waste, increases wear resistance, durability and stability of rotary printing machines' friction units.

DOI 10.46299/ISG.2021.MONO.TECH.II-577-585

9.3 Planetary cam mechanisms of one-directional movement with a stop

There is always a need for mechanisms, that makes it possible to accelerate and stop the driven links without shocks, so as ones designed to drive the links in one direction with a periodic stop [564]. Such planetary cam mechanisms has the rocker arm, which rotates around a fixed cam. All of planetary cam mechanisms presents in Fig. 1 and works on the same principle.

The scheme of the planetary cam-gear mechanism according to [565] is presented in Fig.1, a. The carrier 1 is mounted freely on the shaft 8, rotates counterclockwise at a constant speed. During rotation, the roller 5 of the rocker arm 4 rolls along a constant radius of the fixed groove cam 6 and drives the shaft 8 through the gear sector 2 and the gear wheel 7 at the same speed. The gear sector 2 and the rocker arm 4 are mounted on an axis pin 3, which rotates freely in the carrier 1.

To stop the driven link 9, the roller 5 passes to the variable radius of the cam profile 6 and rotates the gear 7 through the gear sector 2 in the opposite direction. If the angular velocity given to it by the toothed sector 2 is achieved, it stops and will stand until these angular velocities are equal. Rocker arm 4 reduces the angular velocity of the gear 7 to zero and accelerates it in the opposite direction at the end of the stop.

In the article [566] it is noted that obtaining a long stop of the driven link 9 requires a large angular span of the rocker arm of the cam mechanism. At the same time, the value of the angular span of the rocker arm should not exceed 60 degrees [564].

The proposed new planetary cam-gear mechanism with multiplier makes it possible to reduce significantly the swing angle of the rocker arm of the cam mechanism in order to increase the stopping time of the driven link. The mechanism works similarly to the previous one.

The multiplier of this mechanism (Fig. 1, b) consists of a gear wheel 10 mounted on a pin 3, which rotates freely in the carrier 1, and a gear sector 12 connected to the rocker arm 4. They can swing on the finger 13, which hinged in the carrier 1.

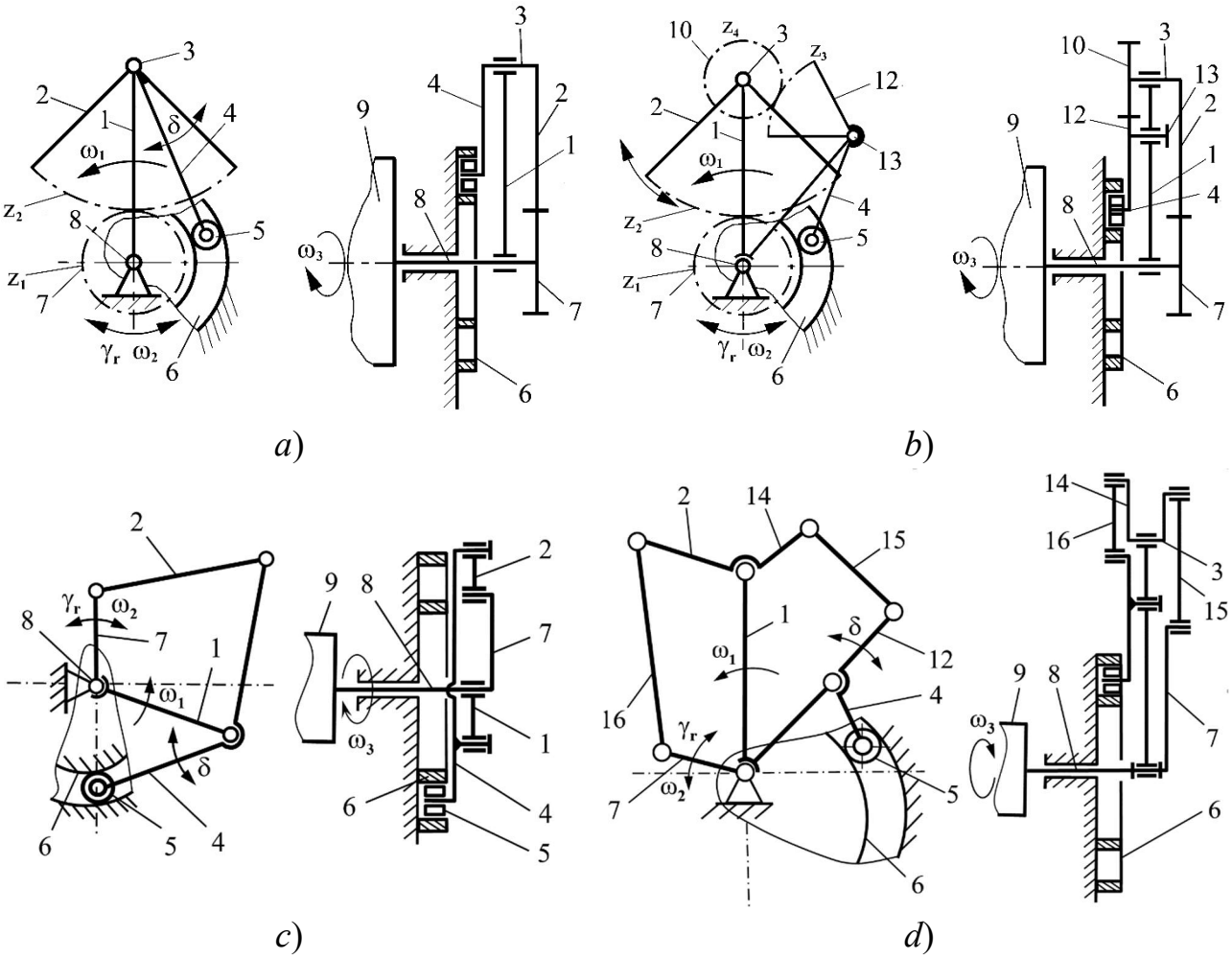


Figure 1. Schemes of planetary cam mechanisms:
a – cam-and-gear, *b* – cam-and-gear with multiplier,
c – cam-and-lever, *d* – cam-and-lever with multiplier

On the other side of the carrier 1 on the axis pin 3 is fixed a gear sector 2, which interacts with the gear 7 connected to the shaft 8. The gears 12 and 10, as well as the gears 2 and 7 allows to increase significantly the angle of rotation of the gear 7 and to achieve a long stop of the driven link 9.

From another point of view, the use of gears in these mechanisms (Fig. 1 a, b) negatively affects the durability and accuracy of the mechanism. The reason is that they have gaps and contact occurs along the line.

In order to eliminate these shortcomings, a cam-lever mechanism is proposed [567] (Fig. 1, c), where the movement of the two-arm rocker 4 is transmitted to the shaft 8 by the connecting rod 2 and the rocker arm 7. During the rotation of the carrier 1 at a constant speed, the rocker arm 7 gives the shaft 8 the same speed in the opposite direction. As a result, the shaft 8 with the driven link 9 stops and stands still during the phase of equality of speeds. This mechanism, like the mechanism in Fig. 1, a, has restrictions on the relatively large phase angles of a stop of the driven link.

In order to eliminate the shortcomings inherent in gears, new planetary cam-lever mechanism is proposed (Fig. 1, d). In the mechanism, movement of the rocker arm 4 of the cam mechanism is transmitted to the shaft 8 by means of a multiplier, which consists of levers 12, 15, 14, and then by a help of levers 2, 16, 7. Thus, the mechanism extends the use by increasing the swing angle of the rocker arm 7 and, accordingly, the phase angle of driven link 9 stop, which ensures its longevity and better accuracy.

In packaging machines, planetary cam mechanisms can be used in the drive of conveyors to move the product from one position to the next with a stop to perform technological operations. For example, a similar mechanism (Fig. 1, a) used in die cutting press Autoplatina of Swiss company BOBST for stepwise movement of cardboard blanks to technological sections [566, 568].

In printing machines, the planetary cam-lever mechanism (Fig. 1, c) can be used to drive a rotating stop-gripper mechanism. It is designed to fix a motionless sheet on the register table, accelerate and transmit it to grippers of the printing cylinder, which rotates at a high constant angular velocity. This mechanism has high requirements for accuracy. He must take the sheet from the register table and accurately, without displacement, pass it to grippers of the printing cylinder.

Next, the authors presents the calculation method of the mechanisms' cycloramas, builds on the method of [566, 569].

The angular velocity ω_3 of the shaft 8 and the driven link 9 consists of the carrying speed ω_1 of the carrier 1 and the relative speed ω_2, which gives it the link 7

(gear Fig. 1 a, b, or rocker Fig. 1 c, d), the drive which is carried out from a fixed cam 6. This can be written as follows

$$\omega_3 = \omega_1 + \omega_2 . \tag{1}$$

The angular velocity of the link 7 for the period of running up can be written as [570]:

$$\omega_{2rup} = b_{k_1} \cdot \frac{\gamma_1}{\varphi_1} \cdot \omega_1 , \tag{2}$$

where b_{k1} is the speed invariant;

γ_1 is an angle of rotation of the link 7 during the running up period;

φ_1 is the phase angle of the running up period.

Similarly, the angular velocity of the link 7 is determined during the run-down period.

$$\omega_{2rd} = b_{k_3} \cdot \frac{\gamma_3}{\varphi_3} \cdot \omega_1 , \tag{3}$$

where index 3 denotes the same values as in formula (2), only for the run-down period.

For the stop of the shaft 8 it is necessary that the maximum speed provided by the link 7 is equal to the speed of the carrier 1, but has the opposite sign.

This condition can be written as follows:

$$\omega_3 = \omega_{2max} + \omega_1 = 0 . \tag{4}$$

Here $\omega_{2max} = B_1 \cdot \frac{\gamma_1}{\varphi_1} \cdot \omega_1$ – the maximum angular velocity of the link 7, where B_1 is the peak constant of the selected law of motion of the link 7 during the run-up period.

Then it follows that

$$\omega_3 = B_1 \cdot \frac{\gamma_1}{\varphi_1} \cdot \omega_1 + \omega_1 = 0 .$$

From here, we obtain absolute values of the phase angles of running up and down.

$$\varphi_1 = B_1 \cdot \gamma_1 \; ; \tag{5}$$

$$\varphi_3 = B_3 \cdot \gamma_3 \; , \tag{6}$$

where B_3 is the peak constant of the selected law of motion of the link 7 during the run-down period.

For a segment of the constant speed of the link 7 is determined similarly.

$$\varphi_2 = B_2 \cdot \gamma_2 ; \qquad \varphi_2 = \gamma_2 . \tag{7}$$

where $B_2 = 1$ is the peak constant of a velocity during the uniform motion period.

Thus, the phase angle of rise of a follower will be equal to (Fig. 2):

$$\varphi_{rs} = \varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 . \tag{8}$$

Next, the roller can roll on the profile of the cam with a constant maximum radius (a dwell), while the speed of the link 7 will be zero $\omega_2 = 0$. The phase angle of the section is denoted by φ_4 (fig. 2).

The presence the section is such in some cases, for example, when using this mechanism to drive the rotating stop-gripper mechanism in printing machines. It is necessary to ensure rotation of the stop-gripper at a constant speed ω_1 during the transfer of the sheet of paper or cardboard in grippers of the next cylinder.

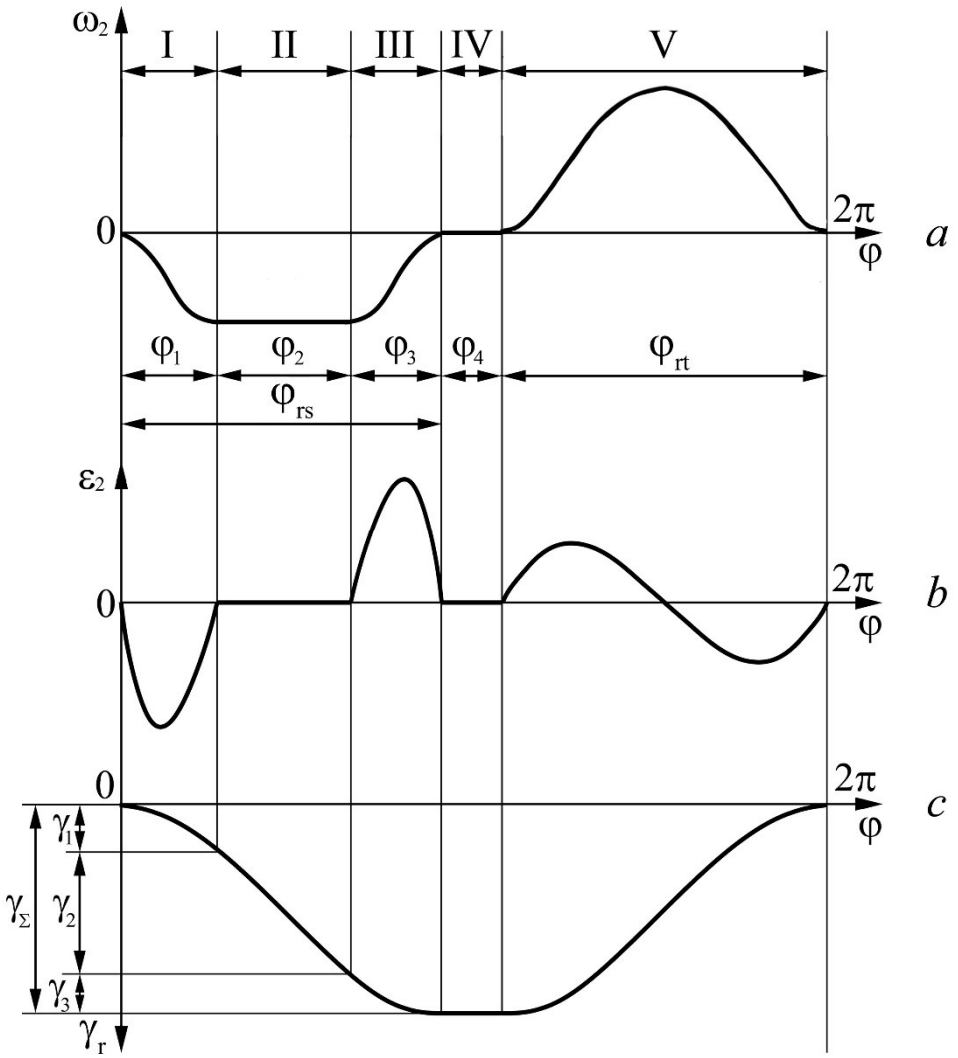


Figure 2. Diagram of change of angular velocities (a), acceleration (b) and displacement (c) of link 7 depending on the angle of rotation of the carrier 1

The phase angle of return of a follower will be equal to:

$$\varphi_{rt} = 360° - (\varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 + \varphi_4). \quad (9)$$

If there is no need for a constant velocity, then take $\varphi_4 = 0$, so then the phase angle of return of a follower is equal to:

$$\varphi_{rt} = 360° - (\varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3).$$

The total swing angle of link 7 is equal to:

$$\gamma_\Sigma = \gamma_1 + \gamma_2 + \gamma_3. \quad (10)$$

Next, authors presents the determination method of the kinematics of the mechanism. The characteristic graphs of changes in the kinematic values of link 7 are show in fig. 2 a, b, c. A graph of changes in the angular velocity of the driven link 9 is in Fig. 2, d. The instant values of the kinematic factors of link 7 are determined for each section separately.

Section I – the run-up section of the rise period.

Angular displacement of the link 7:

$$\gamma_k = -2a_{k1} \cdot \gamma_1, \tag{11}$$

where a_{k1} is an invariant of instant displacements, $0 \le a_{k1} \le 0{,}5$.

Angular velocity:

$$\omega_2 = -b_{k1} \frac{\gamma_1}{\varphi_1} \cdot \omega_1, \tag{12}$$

where b_{k1} is an invariant of instant velocities, $0 \le b_{k1} \le B_1$.

Angular acceleration:

$$\varepsilon_2 = -c_{k1} \frac{\gamma_1}{\varphi_1^2} \cdot \omega_1^2, \tag{13}$$

where c_{k1} is an invariant of instant accelerations.

Section II – section of a constant speed.

Angular displacement:

$$\gamma_k = -\gamma_1 - \gamma_2 \cdot k, \tag{14}$$

where k is the relative time, $0 \le k \le 1$.

Angular velocity:

$$\omega_2 = -B_1 \frac{\gamma_1}{\varphi_1} \cdot \omega_1 = -\omega_1 = const. \tag{15}$$

Angular acceleration $\varepsilon_2 = 0$.

Section III – the run-down section of the rise period.

Angular displacement:

$$\gamma_k = -(\gamma_1 + \gamma_2 - \gamma_3 + 2a_{k3} \cdot \gamma_3), \tag{16}$$

where a_{k3} is an invariant of instant displacements in the section III, $0{,}5 \le a_{k3} \le 1$.

Angular velocity:

$$\omega_2 = -b_{k3} \frac{\gamma_3}{\varphi_3} \cdot \omega_1, \tag{17}$$

where b_{k3} is an invariant of instant velocities in the section III, $B_3 \ge b_{k3} \ge 0$.

Angular acceleration:

$$\varepsilon_2 = -c_{k3} \frac{\gamma_3}{\varphi_3^2} \cdot \omega_1^2. \tag{18}$$

Section IV – section of a dwell of the link 7.

The roller 5 is located on the maximum radius of the cam.

$$\gamma_k = -\gamma_\Sigma, \qquad \omega_2 = 0, \qquad \varepsilon_2 = 0. \tag{19}$$

In this section, the link 7 has no relative motion and the shaft 8 rotates at a constant speed ω_1. The phase angle φ_4 can be set for technological reasons, for example, in the printing machine for a movement of the rotating stop-gripper at a constant speed during a transfer of the paper or cardboard sheet to the grippers of the cylinder. When there is no need for it, they accept $\varphi_4 = 0$.

Section V – the return period.

Angular displacement:

$$\gamma_k = -a_{k5} \cdot \gamma_\Sigma, \tag{20}$$

where a_{k5} is an invariant of instant displacements in the section V, $1 \ge a_{k5} \ge 0$;

$\gamma_\Sigma = \gamma_1 + \gamma_2 + \gamma_3$ – the total swing angle of link 7.

Angular velocity:

$$\omega_2 = b_{k5} \frac{\gamma_\Sigma}{\varphi_{rt}} \cdot \omega_1, \tag{21}$$

where b_{k5} is an invariant of instant velocities in the section V;

φ_{rt} is the phase angle of return of a follower.

Angular acceleration:

$$\varepsilon_2 = c_{k5} \frac{\gamma_\Sigma}{\varphi_{rt}^2} \cdot \omega_1^2, \tag{22}$$

where c_{k5} – invariant of instant accelerations.

Schemes of new planetary cam mechanisms offered to drive the slave links with periodic stops, where gears and transmission with levers are applied. Such mechanisms of constant structure makes it possible for the slave links to set a periodic stop for half or more of their cycle. Due to the smooth change of speed and acceleration of the driven link, the mechanisms provides trouble-free operation for a long time. The usage of levers in cam-lever mechanisms increases the accuracy of their operation. Planetary cam mechanisms can be used also in other branches, for example, with the aim to improve cardboard tray and case forming mechanisms [7].

DOI 10.46299/ISG.2021.MONO.TECH.II-586-598

9.4 Системний підхід до автоматизованого вибору раціональної посадки з натягом на основі математичного моделювання

У машинобудівній галузі проблема підвищення надійності механізмів і агрегатів машин є дуже актуальною. Рішення цієї проблеми пов’язане з підвищенням автоматизації та ефективності проектування і виробництва виробів, їх технічного рівня (технологія CAE/CAD/CAM). У сучасній техніці широко застосовуються посадки з гарантованим натягом, які є одними з найбільш поширених видів умовно роз’ємних з’єднань. Від правильного вибору посадок при проектному розрахунку їх параметрів забезпечується задана міцність і надійність машин і механізмів, в яких вони застосовуються. Існуючі методи автоматизації розрахунку і вибору посадок з натягом засновані на традиційних методах прецедентів і подоби, що зазвичай ґрунтуються на виробничому досвіді. В деяких випадках необхідно проведення експериментальних досліджень, а також введення поправок і кореляції розрахунків. Такий підхід залежить від суб’єктивного фактору (кваліфікації і досвіду проектувальника), тому він не завжди дозволяє отримати гарантоване раціональне проектне рішення, що обране зі скінченої множини допустимих альтернативних варіантів.

Мета дослідження представленої роботи полягає у створенні ефективного методу вибору посадки з натягом на основі математичної моделі області існування раціональних посадок, в якій визначено і враховується комплексний взаємовплив параметрів з'єднання та використано для аналітичного опису елементів моделі математичний апарат теорії R-функцій [571].

В результаті проведеної авторами серії досліджень [572–578] розроблено принципово новий системний підхід до автоматизованого розрахунку і вибору посадок з натягом різного функціонального призначення. На базі такого підходу створено метод, який реалізовано у вигляді авторської комп’ютерної програми Interference Fit [579] автоматизованого розрахунку і вибору посадок з натягом (інструментальний засіб досліджень). Структура розробленої програми враховує задану систематизацію факторів обмежень [572], що значно підвищує

продуктивність процесу проектування. За допомогою програмного забезпечення [579] користувач отримує перелік спроектованих стандартних посадок з натягом (скінчену множину проектних рішень), які відповідають певним умовам міцності і надійності та залежать від навантаження, експлуатації та системи обмежень. Отже проектувальнику необхідно обрати лише одне остаточне проектне рішення.

Програмний засіб Interference Fit успішно застосовано при розв'язанні конкретного прикладу гладкого з'єднання посадки з натягом для вінця зубчастого колеса з маточиною при термічному способі складання, виконаного за методом повної взаємозамінності при вихідних даних: осьова навантажувальна сила $F_a = 1500$ Н; навантажувальний обертальний момент $T = 2000$ Н·м; діаметр внутрішньої поверхні $d_1 = 50$ мм і матеріал Сталь 45Х для охоплюваної деталі; умовний зовнішній діаметр $d_2 = 130$ мм і матеріал Сталь 50 для охоплюючої деталі; діаметр посадкового з'єднання $d = 85$ мм; робоча довжина посадкового з'єднання $l = 90$ мм.

На етапах чисельно-аналітичних досліджень при аналізі вихідних даних і низки отриманих результатів автоматизованих розрахунків побудовано графік функції $N = \mathrm{f}(p)$ [573] у координатній площині pN, де p – питомий контактний тиск на робочі поверхні деталей, а N – розрахунковий натяг (рис. 1). Допустимий максимальний тиск $[p_{\max}]$ у досліджуваному з'єднанні так само, як і величина максимального розрахункового натягу $[N_{\max}]$, є величинами сталими, за верхньою границею яких відбувається руйнування найбільш слабкої деталі. Зазначені параметри $[p_{\max}]$ і $[N_{\max}]$ мають лінійний характер і залежать від властивостей матеріалів з'єднання. Величина мінімального питомого тиску $[p_{\min}]$, при якому забезпечується невихід деформацій деталей з'єднання за границі пружності, суттєво залежить від робочої довжини l.

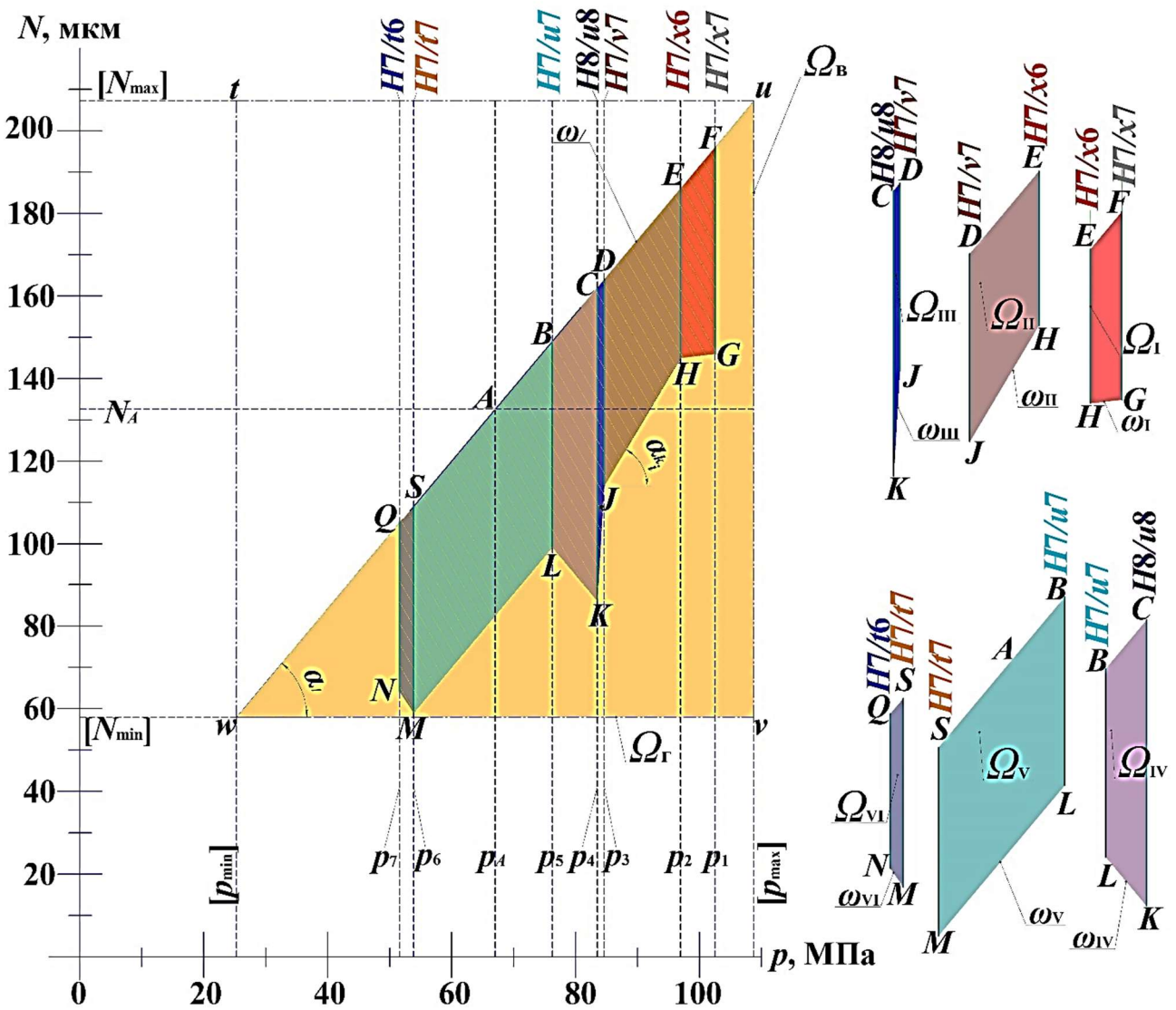


Рисунок 1. Результати дослідження ЗОВДР, ОІПСП, СМРПР і ОРПР для залежності $N = \mathrm{f}(p)$ при сталих геометричних значеннях

Очевидним є той факт, що в ідеальному випадку дійсні значення розмірів охоплюваної і охоплюючої деталей, які утворюють натяг, будуть забезпечувати значення середнього натягу N_{c} при їх максимальному наближенні до деякої точки A (рис. 1) з координатами $N_A = N_{\text{c}}$ у діапазоні розрахункових значень $[N_{\min}]...[N_{\max}]$ і $p_A = p_{\text{c}}$ у діапазоні $[p_{\min}]...[p_{\max}]$. Знайдені параметри N_A і p_A забезпечують деформації деталей у границях пружності при заданих фіксованих значеннях робочої довжини і посадкового діаметра. Сама точка A, яка є центром симетрії прямокутника $tuvw$ – загальної області всіх допустимих рішень

(ЗОВДР), являє собою центр групування раціональних сполучень питомого тиску і натягу. Для визначення таких сполучень користувач має задати *n*-ну кількість параметрів, як критеріїв, за врахуванням яких є можливість обрати одну раціональну стандартну посадку з усіх можливих придатних. Критеріями для визначення ЗОВДР є: натяги N (допустимі максимальний $\left[N_{\max}\right]$ і мінімальний $\left[N_{\min}\right]$; дійсний N_i та імовірнісні максимальний $N_{\text{імmax}_i}$ і мінімальний $N_{\text{імmin}_i}$ для i-ї посадки); питомий контактний тиск на робочі поверхні деталей посадки p (граничні мінімальний $\left[p_{\min}\right]$ і максимальний $\left[p_{\max}\right]$, а також дійсний p_i для *i*-ої посадки). Ці критерії суттєво залежать від геометричних посадкових параметрів – діаметра d і робочої довжини l, а також від величин, які визначають спосіб складання: температури нагрівання охоплюючої t_2 (охолодження охоплюваної t_1) деталі при термічному способі або сила запресовування $F_з$ – при механічному.

Для більш обґрунтованого вибору остаточного проектного рішення з ЗОВДР за методом повної взаємозамінності при фіксованому значенні діаметра посадкового з'єднання необхідне забезпечення відповідної міцності, для якої дійсні значення питомого тиску p_i і натягу N_i у i-ій посадці відповідають граничним умовам $\left[p_{\min}\right] \le p_i \le [p_{\max}]$ і $\left[N_{\min}\right] \le N_i \le [N_{\max}]$, тобто в границях прямокутника $tuvw$ ЗОВДР, який є двопараметричною плоскою моделлю, побудованою у координатній площині pN. Всі раціональні рішення допустимих значень розглядуваної ЗОВДР аналітично описані за допомогою математичного апарату теорії R-функцій [574], застосування якого дозволяє значною мірою автоматизувати проектування посадкових з'єднань:

$$\Omega_{\text{вг}} = \Omega_{\text{в}} \wedge_0 \Omega_{\text{г}}, \tag{1}$$

де $\wedge_0$ – символ R-кон'юнкції [571, 580–582], що означає перетин множин $\Omega_{\text{в}}, \Omega_{\text{г}}$; $\Omega_{\text{в}}$ – множина допустимих значень посадок у вигляді вертикальної

смуги (для питомого тиску $[p_{\min}]$ і $[p_{\max}]$); $\Omega_{г}$ – множина допустимих значень посадок у вигляді горизонтальної смуги (для натягу $[N_{\min}]$ і $[N_{\max}]$).

Користуючись властивістю кон'юнкції, вся множина, як область допустимих значень, буде згідно з формулою (1) дорівнювати:

$$\Omega_{вг} = \Omega_{в} + \Omega_{г} - \sqrt{\Omega_{в}^2 + \Omega_{г}^2} =$$

$$= \left[\left(\frac{[p_{\max}]-[p_{\min}]}{2}\right)^2 - (p-p_A)^2\right] + \left[\left(\frac{[N_{\max}]-[N_{\min}]}{2}\right)^2 - (N-N_A)^2\right] -$$

$$- \sqrt{\left[\left(\frac{[p_{\max}]-[p_{\min}]}{2}\right)^2 - (p-p_A)^2\right]^2 + \left[\left(\frac{[N_{\max}]-[N_{\min}]}{2}\right)^2 - (N-N_A)^2\right]^2}. \quad (2)$$

де p і N – значення питомого тиску і натягу вздовж координатних осей p і N (див. рис. 1); p_A, N_A – дійсні координати центру симетрії (точки A) прямокутника $tuvw$ у заданому перерізі (для робочої довжини l).

Слід зазначити, що у трикутнику tuw, який є половиною прямокутника $tuvw$ ЗОВДР (див. рис. 1), над діагоналлю uw ніяких стандартних посадок не існує, тому діапазони цих придатних посадок знаходяться під діагоналлю прямокутника, тобто у трикутнику uvw – області існування придатних стандартних посадок (ОІПСП). З цієї причини всі раціональні рішення слід обмежити ще однією множиною ω_l – діагоналлю uw, яка є обмежувальною верхньою границею максимальних значень натягів $N_{\text{ім}\max_i}$ імовірнісного допуску стандартних посадок. В цьому випадку:

$$\omega_l = p - \frac{[p_{\max}]-[p_{\min}]}{[N_{\max}]-[N_{\min}]} N + \frac{[p_{\max}]-[p_{\min}]}{2}. \quad (3)$$

У підсумку всі раціональні рішення допустимих значень плоскої моделі ОІПСП у трикутнику uvw, позначеної множиною Ω_{Δ} остаточно мають вигляд:

$$\Omega_{\Delta} = (\Omega_{в} \wedge_0 \Omega_{г}) \wedge_0 \omega_l. \quad (4)$$

Для розглядуваного прикладу вся сукупність сімох стандартних придатних посадок з натягом (у вигляді ортогональних прямих відрізків) являє собою скінчену множину ω, що включає m раціональних проектних рішень в межах границь ОІПСП множини Ω_{Δ} . Як розвиток досліджень на основі автоматизованого розрахунку в загальному виді аналітично опишемо рівняння скінченої множини раціональних проектних рішень (СМРПР) за допомогою теорії R-функцій [571, 580]:

$$\omega = \omega_i \vee_0 \omega_{i+1} \vee_0 \ldots \vee_0 \omega_m = \omega_1 \vee_0 \omega_2 \vee_0 \omega_3 \vee_0 \omega_4 \vee_0 \omega_5 \vee_0 \omega_6 \vee_0 \omega_7, \qquad (5)$$

де $\vee_0$ – знак R-диз'юнкції, що означає об'єднання множин; m – скінчена множина проектних рішень (для розглядуваного прикладу $m=7$); ω_i – аналітична формула i-ої придатної стандартної посадки

З цього m-го переліку придатних посадок СМРПР ω, що входить до множини Ω_{Δ} плоскої моделі в координатних осях pN, користувач має обрати одне раціональне проектне рішення. Для цієї мети авторами [575] запропоновано окреслити всю область раціональних проектних рішень (ОРПР), позначеної далі через множину Ω. Вона утворена відрізками СМРПР та представляє собою для даного прикладу багатокутник $ABCDEFGHJKLMNQS$ (див. рис. 1), тобто $\omega \in \Omega$. Розглядуваний об'єкт Ω утворюється прямим відрізком QF, що збігається з діагоналлю uw та обмежує максимальні значення допусків ймовірнісних натягів стандартних посадок від $N_{\text{імmax}_i}$ до $N_{\text{імmax}_m}$, а ламана лінія $GHJKLMN$ багатокутника – границю їх мінімальних значень від $N_{\text{імmin}_i}$ до $N_{\text{імmin}_m}$. Точка A ділить навпіл діагональ uw і знаходитися на відрізку QF. Відрізок QN (допуск імовірнісного натягу стандартної посадки $H7/t6$ – множина ω_7) замикає лівий край багатокутника, а відрізок FG (посадки $H7/x7$ – ω_1) – правий.

На наступному етапі слід аналітично описати за допомогою теорії R-функцій [571, 581] всю ОРПР. Досліджувану множину Ω розіб'ємо на ряд окремих ділянок у вигляді чотирьохкутників − підмножин Ω_{k_i}, $\Omega_{k_{i+1}}, \ldots, \Omega_{k_{m-1}}$

(для нашого прикладу Ω_{I} – ділянка $EFGH$, Ω_{II} – $DEHJ$, Ω_{III} – $CDJK$, Ω_{IV} – $BCKL$, Ω_{V} – $SBLM$, Ω_{VI} – $MNQS$ (див. рис. 1). На основі властивостей об'єднання можна аналітично описати множину Ω у вигляді:

$$\Omega = \Omega_{k_i} \vee_0 \Omega_{k_{i+1}} \vee_0 \ldots \vee_0 \Omega_{k_{m-1}} = \Omega_{\mathrm{I}} \vee_0 \Omega_{\mathrm{II}} \vee_0 \Omega_{\mathrm{III}} \vee_0 \Omega_{\mathrm{IV}} \vee_0 \Omega_{\mathrm{V}} \vee_0 \Omega_{\mathrm{VI}}, \quad (6)$$

де $m-1$ – кількість ділянок (частин) загальної області Ω залежно від m-ої кількості варіантів посадок СМРПР; Ω_{k_i} – окрема ділянка загальної області Ω (у вигляді частини плоского чотирикутника) між питомими тисками p_i і p_{i+1} для i-ї і $i+1$ стандартних посадок відповідно.

Аналітична формула окремої ділянки області Ω_{k_i} між питомими тисками p_i і p_{i+1} сусідніх придатних стандартних посадок визначається на основі властивостей перетину множин:

$$\Omega_{k_i} = \omega_0 \wedge_0 \omega_i \wedge_0 \omega_{i+1} \wedge_0 \omega_{k_i}, \quad (7)$$

де ω_{k_i} – відрізки між нижніми границями (ω_{I}, ω_{II}, ω_{III}, ω_{IV}, ω_{V} і ω_{VI}) мінімальних значень імовірнісних натягів від $N_{\text{імmin}_i}$ до $N_{\text{імmin}_{i+1}}$ ламаної лінії $GHJKLMN$ для відповідних сусідніх допусків стандартних посадок області ОРПР між питомими тисками p_i і p_{i+1}.

Нижня границя мінімальних значень від $N_{\text{імmin}_i}$ до $N_{\text{імmin}_m}$ має вигляд ламаної лінії $GHJKLMN$ багатокутника (див. рис. 1). Кожна окрема ділянка лінії представляє собою окремий похилий відрізок ω_{k_i} (ω_{I} – GH, ω_{II} – HJ, ω_{III} – JK, ω_{IV} – KL, ω_{V} – LM і ω_{VI} – MN) залежно від кута нахилу α_{k_i} до горизонту. Рівняння похилої прямої:

$$\omega_{k_i} = p_k \cdot p + N_k \cdot N + c_k, \quad (8)$$

де p_k і N_k – точки перетину напрямних відрізків ω_{k_i} з координатними осями p і N відповідно, які нахилені під кутами нахилу α_{k_i} до горизонту, тобто

$p_k = p_i - p$ є відстанню між питомим дійсним тиском p_i i-ї посадки та початком координати p, а $N_k = N_{\text{імmin}_i} - N$ – відстань між мінімальним імовірнісним натягом $N_{\text{імmin}_i}$ тієї ж посадки та початком координати N; c_k – стала величина.

Після алгебраїчного перетворення рівняння (8) має остаточний вигляд:

$$\omega_{k_1} = p + \frac{p_k}{N_k} N - p_k = p + N \cdot \text{ctg}\alpha_{k_i} - p_k . \qquad (9)$$

Залежно від кута нахилу α_{k_i} до горизонту можливі випадки положення відрізка ω_{k_i}: для кута нахилу $\alpha_{k_1} \geq 180^{\circ}$ (кути α_4 і α_6 для напрямних відрізків ω_{IV} і ω_{VI} відповідно) напрямна відрізка $\omega_{k_i} = \omega_{k_1}$; для кута нахилу в діапазоні $45^{\circ} \leq \alpha_{k_2} \leq 90^{\circ}$ (α_2, α_3 і α_5 для напрямних відрізків ω_{II}, ω_{III} і ω_{V} відповідно) $\omega_{k_i} = \omega_{k_2}$; для кута нахилу $\alpha_{k_3} \leq 45^{\circ}$ (α_1 для напрямного відрізка ω_{I}), $\omega_{k_i} = \omega_{k_3}$.

Можна стверджувати, що *i*-ту раціональну посадку з гарантованим натягом, параметри якої знаходяться в околицях точки A ($p_i \to p_A, N_i \to N_A$) (див. рис. 1), можна вважати наближеною до оптимальної. Авторами [2, 3, 6−8] запропоновано виділити навколо точки A вірогідну локалізовану зону раціональних придатних посадок (ВЛЗРПП) певної форми, позначеною множиною $\omega_{\square}$, в яку повинні входити їх дійсні значення, що забезпечують посадки. Використання такої зони дозволить користувачеві значно звузити пошук з кількості альтернативних придатних посадок до доцільного мінімуму при виборі раціонального проектного рішення. Для цього має виконуватися умова ієрархічного підпорядкування: $\omega_{\square} \in \Omega \in \Omega_{\Delta} \in \Omega_{\text{вг}}$, тобто множина ВЛЗРПП входить до ОРПР, утвореної СМРПР, що вписується у границі ОІПСП, а остання є частиною (половиною) ЗОВДР прямокутника $tuvw$.

Авторами за допомогою теорії R-функцій аналітично описано кілька варіантів форм (прямокутні, еліпсоїдні та кругові) ВЛЗРПП [6−8]. При їх порівняльному аналізі найефективнішою виявилася кругова форма з центром у

точці A. Як один із способів відшукання раціонального проектного рішення для плоскої моделі в межах ОІПСП (трикутника uvw) в координатних осях pN, авторами запропоновано графоаналітичним способом окреслити всередині границь СМРПР кругову вірогідну зону навколо точки A у вигляді півкруга з дугою fgh (рис. 2) [572, 573, 578].

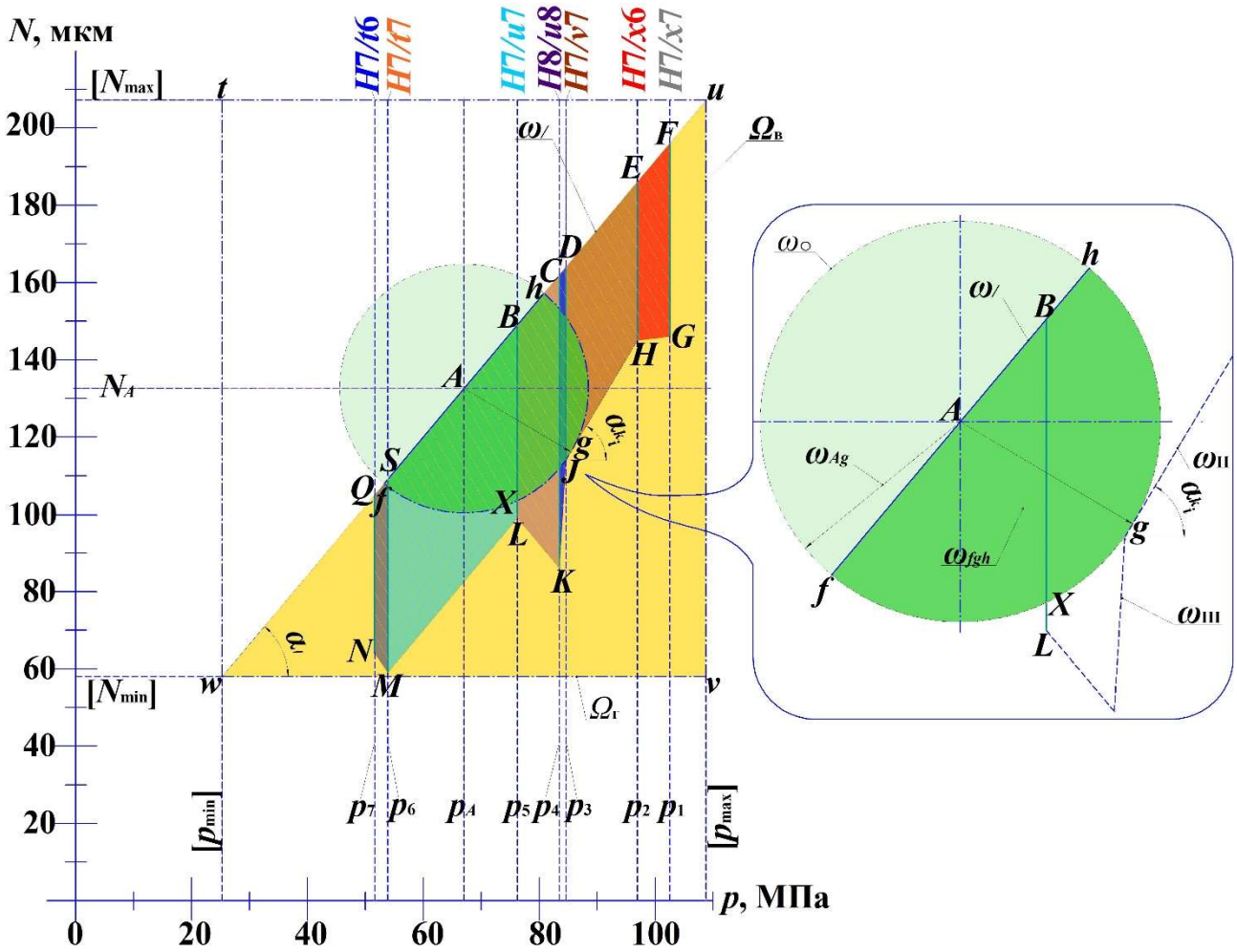


Рисунок 2. Прийнята форма вірогідної кругової зони при сталому значенні діаметра d і дискретному значенні довжини l_k

Півкруг ВЛЗРПП торкається до ламаної лінії $GHJKLMN$, у точці g, що належить найближчому відрізку HJ (множина ω_{II}) між сусідніми точками H і J. Точка J також належить відрізку DJ імовірнісного допуску посадки $H7/v7$, а H − відрізку EH посадки $H7/x6$. Між точками A і g утворюється радіус

$R = Ag$ (точка g є точкою перетину відрізків Ag і HJ, причому $Ag \perp HJ$), яким описується зона півкруга з дугою fgh для вибору раціонального проектного рішення. Для опису положення розташування радіусу R за допомогою R -функцій необхідно вирішити систему рівнянь: рівняння відрізку HJ, позначеного ω_{II} та рівняння відрізку Ag, що позначимо ω_{Ag}. Для відрізку ω_{II}, напрямок якого збігається з похилою прямою ω_{k_i} (9), відомі координати $p_i, N_{\text{іммin}_i}$ і $p_{i+1}, N_{\text{іммin}_{i+1}}$, зокрема для нашого прикладу − в точках H $(p_2, N_{\text{іммin}_2})$ і $J(p_3, N_{\text{іммin}_3})$. Оскільки натяг є функцією, що залежить від аргументу питомого тиску з'єднання, тобто $N = \text{f}(p)$, то рівняння похилої прямої в системі координат pN має вид:

$$N = a \cdot p + b. \tag{10}$$

Для визначення шуканих сталих величин a і b в (10) треба розв'язати систему рівнянь з урахуванням координат точок $(p_i, N_{\text{іммin}_i})$ і $(p_{i+1}, N_{\text{іммin}_{i+1}})$:

$$\left.\begin{aligned} N_{\text{іммin}_i} &= a \cdot p_i + b; \\ N_{\text{іммin}_{i+1}} &= a \cdot p_{i+1} + b. \end{aligned}\right\}, \tag{11}$$

відкіля $a = \dfrac{N_{\text{іммin}_{i+1}} - N_{\text{іммin}_i}}{p_{i+1} - p_i} = \text{tg}\alpha_{k_i}$, а $b = \dfrac{N_{\text{іммin}_i} \cdot p_{i+1} - N_{\text{іммin}_{i+1}} \cdot p_i}{p_{i+1} - p_i}$, де α_{k_i} − кут нахилу напрямної відрізка HJ до осі p.

При підстановці цих значень в (10) отримуємо залежність для функції натягу:

$$N = \frac{N_{\text{іммin}_{i+1}} - N_{\text{іммin}_i}}{p_{i+1} - p_i} \cdot p + \frac{N_{\text{іммin}_i} \cdot p_{i+1} - N_{\text{іммin}_{i+1}} \cdot p_i}{p_{i+1} - p_i} = p \cdot \text{tg}\alpha_{k_i} + b, \tag{12}$$

тоді рівняння відрізка HJ має остаточний вигляд:

$$\omega_{k_i} = N - p \cdot \frac{N_{\text{іммin}_{i+1}} - N_{\text{іммin}_i}}{p_{i+1} - p_i} - \frac{N_{\text{іммin}_i} \cdot p_{i+1} - N_{\text{іммin}_{i+1}} \cdot p_i}{p_{i+1} - p_i}. \tag{13}$$

Координати точки $A\,(p_A, N_A)$ визначені в роботі [578]: $p_A = p - \frac{[p_{\max}]-[p_{\min}]}{2}$ і $N_A = N - \frac{[N_{\max}]-[N_{\min}]}{2}$. Оскільки відрізок Ag перпендикулярний до HJ, то його рівняння має вигляд:

$$N = -p \cdot \mathrm{ctg}\alpha_{k_i} + d. \tag{14}$$

Після підстановки в (14) координат точки $A\,(p_A, N_A)$ величина шуканої сталої:

$$d = N_A + p_A \cdot \mathrm{ctg}\alpha_{k_i}. \tag{15}$$

З урахуванням тієї обставини, що точка g є точкою перетину відрізів Ag і HJ, тому шукані координати цієї точки p_g і N_g треба знайти в результаті розв'язання системи рівнянь:

$$\left.\begin{aligned} N_g &= p_g \cdot \mathrm{tg}\alpha_{k_i} + b; \\ N_g &= -p_g \cdot \mathrm{ctg}\alpha_{k_i} + d. \end{aligned}\right\}, \tag{16}$$

Після математичних перетворень знаходимо координати точки g:

$$p_g = \frac{(d-b)\,\mathrm{tg}\alpha_{k_i}}{1+\mathrm{tg}^2\alpha_{k_i}}; \quad N_g = \frac{b + d \cdot \mathrm{tg}^2\alpha_{k_i}}{1+\mathrm{tg}^2\alpha_{k_i}}. \tag{17}$$

Рівняння відрізку Ag матиме вигляд:

$$\omega_{Ag} = N_g - N_A + (p_g - p_A) \cdot \frac{p_{i+1} - p_i}{N_{\text{ім}\min_{i+1}} - N_{\text{ім}\min_i}}. \tag{18}$$

Величина радіусу R і рівняння кола $\omega_{\square}$, де знаходиться ВЛЗРПП, мають аналітичний вигляд:

$$R = \sqrt{(p_g - p_A)^2 + (N_g - N_A)^2}; \; \omega_{\square} = R^2 - (p - p_A)^2 - (N - N_A)^2. \tag{19}$$

Рівняння ВЛЗРПП півкругової форми ω_{fgh} можна описати діагоналлю uw з її рівнянням $\omega_{/}$ (3) та колом $\omega_{\square}$ за допомогою теорії R-функцій [571, 582]:

$$\omega_{fgh} = \omega_{/} \wedge_0 \omega_{\square}. \tag{20}$$

З аналізу отриманого графіка (див. рис. 2) виплаває, що до точки A в півкруговій ВЛЗРПП найбільш близькою буде точка B відрізка BL імовірнісного допуску посадки $H7/u7$. Більша його частина BX попадає у цей півкруг, що займає 45,58 мкм. Якщо розглядати посадки $H8/u8$ і $H7/v7$, то їх допуски займають довжини відповідно 41,26 мкм і 36,86 мкм, тобто як критерій вибору вважаємо найраціональнішою посадку $H7/u7$. Рівняння раціональної множини ω_{iX} (для прикладу частини відрізка BX посадки $H7/u7$) згідно з теорією R-функцій має вигляд:

$$\omega_{iX} = \omega_i \wedge_0 \omega_{fgh} = \left(\omega_{iX_p} \vee_0 \omega_{iX_N}\right) \wedge_0 \left(\omega_{/} \wedge_0 \omega_{\square}\right), \tag{21}$$

де ω_i – аналітична формула i-ої придатної стандартної посадки [574]:

$$\omega_i = \omega_{iX_p} \vee_0 \omega_{iX_N} = \left(p - p_i\right) \vee_0 \left(\left(N - \left(N_{\text{ім}\max_i} + N_{iX}\right)\right)^2 - \left(\frac{N_{\text{ім}\max_i} - N_{iX}}{2}\right)^2\right). \tag{22}$$

В отриманій формулі (22) ω_{iX_p} – вертикальна нескінчена пряма, яка збігається з напрямком частини відрізка імовірнісного допуску та є характерною для дійсного тиску i-ої стандартної посадки, що попала у ВЛЗРПП та ортогональна до координатної осі p; ω_{iX_N} – ділянка, що обмежена кінцевою точкою $N_{\text{ім}\max_i}$ і точкою N_{iX}, яка відсікає відрізок імовірнісного допуску i-ої стандартної посадки півкруговою ВЛЗРПП. При цьому розглянутий відрізок розташований вздовж вертикальної нескінченої прямої ω_{iX_p}.

Таким чином, авторами виконаних чисельно-аналітичних досліджень запропоновано і науково обґрунтовано ефективний системний підхід до автоматизованого розрахунку і вибору остаточного раціонального проектного рішення зі скінченої множини m-ої кількості допустимих альтернативних варіантів. Розглянутий метод прийнято як один з основних критеріїв вибору придатних посадок з натягом на основі побудови плоскої моделі області їх існування. В результаті дослідження описані основні елементи аналітичної моделі області існування раціональних посадок за допомогою математичного

апарату теорії R-функцій, використання якого дозволило створити авторську комп'ютерну програму Interference Fit. Ця програма є надійним і корисним інструментальним засобом досліджень для автоматизованого проектування посадок з натягом та дозволяє прискорити процес розрахунку і наочно відобразити математичну модель для вибору раціонального проектного рішення.

DOI 10.46299/ISG.2021.MONO.TECH.II-599-609

9.5 Обгрунтування показників надійності промислових роботів і платформ у складі технологічного обладнання

Автоматизовані та робототехнічні комплекси дозволяють суттєво збільшити продуктивність праці, підвищити якість продукції, спростити переналагодження обладнання та забезпечити перехід до гнучких автоматизованих виробництв, найважливішою складовою яких є промислові роботи-маніпулятори (ПР) та промислові платформи (ПП). Серед ПП найбільше поширення набули роботи-верстати на основі механізмів паралельної структури типу трипод і гексапод (рис. 1).

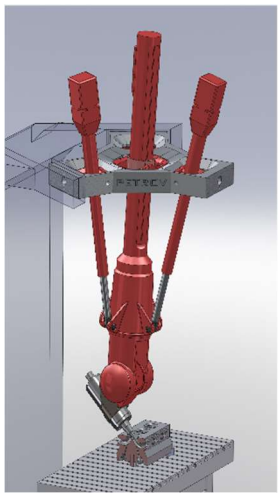
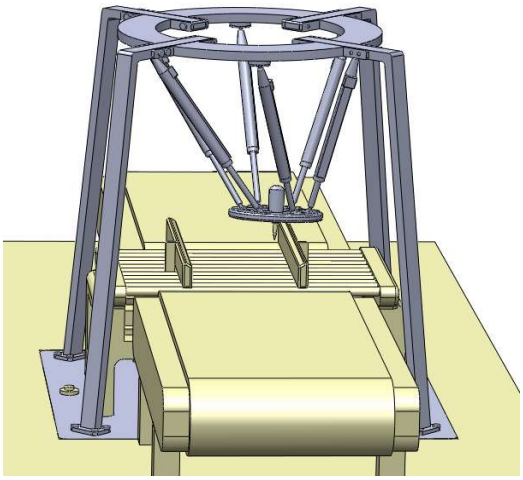
а)  *б*) 

Рисунок 1. 3-Д моделі роботів-верстатів з механізмами паралельної структури типу (*а*) трипод і (*б*) гексапод

Відмови механізмів у складі ПР і ПП (у подальшому *об'єкти*, що підлягають розрахункам) у відповідності зі своєю фізичною природою можуть бути пов'язані з руйнуванням вузлів і деталей механізмів та їх приводів, заклинюванням окремих елементівта ін. причинами, які призводять до того, що технологічне обладнання не може виконувати своїх функцій. Такі відмови прийнято називати *відмовами функціонування* (рис.2).

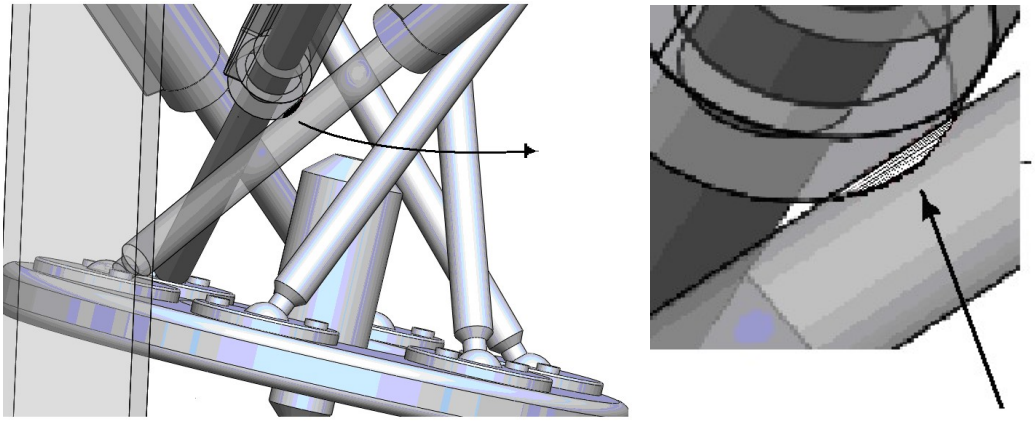


Рисунок 2. Моделювання явищ кінематичного запирання механізму гексапода

У випадках, коли роботоздатність *об'єкту* характеризується сукупністю значень деяких технічних параметрів, то ознакою виникнення відмови є вихід значень кожного із цих параметрів за межі допуску. Такі відмови називають *параметричними*. Наприклад, порушення точності обробки на верстаті-роботі, зменшення тиску в гідроприводах маніпуляторів та штангах гексаподу, тощо, звичайно не порушують подальше функціонування обладнання, однак воно стає нероботоздатним з погляду вимог, установлених нормативно-технічною документацією. Дуже часто параметричні відмови передують відмовам функціонування, а також можуть їх спричиняти. Роботизоване обладнання системної складності складається із багатьох елементів, які можуть бути відремонтовані або замінені. Поширений показник надійності – наробіток до відмови, тобто наробіток об'єкта від початку експлуатації до виникнення першої відмови. До показників безвідмовності й довговічності, що використовують при проектуванні об'єктів машинобудування, відносять кількісні характеристики, опрацьовані у статистичній теорії надійності. Ця теорія описує функціонування великої кількості об'єктів, які виготовляють та експлуатують у статистично однорідних умовах. На практиці прийнято застосовувати цю теорію також й до об'єктів, що випускають малими серіями, що характерно для сучасних конструкцій ПР і ПП. На стадії проектування показники безвідмовності й довговічності трактують як характеристики імовірнісних моделей створюваних об'єктів. На стадіях експериментальної досліджень, випробувань та експлуатації ці показники визначають як статистичні оцінки відповідних імовірнісних

характеристик. Середній наробіток до відмови – математичне очікування наробітку об'єкта до першої відмови, можна визначити як функцію

$$T_f = \int_0^\infty t f(t) dt = \int_0^\infty P(t) dt , \quad (1)$$

де t – сумарний наробіток; $P(t)$ – ймовірність бевідмовної роботи; $f(t)$ – щільність розподілення напрацювання до відмови.

Середній наробіток на відмову – відношення сумарного наробітку відновлюваного об'єкта до математичного очікування числа його відмов протягом цього наробітку. Цей показник звичайно використовується для відновлюваних об'єктів, при експлуатації яких проявляються багаторазово повторювані, як правило, несуттєві відмови, що не приводять до серйозних наслідків. Відповідна розрахункова залежність має вигляд

$$T_{\text{ср}} = t / M\{r(t)\}, \quad (2)$$

де $r(t)$ – число відмов, що настали протягом наробітку.

Коефіцієнт готовності характеризує готовність об'єкта до використання за призначенням у певний момент часу, крім запланованих періодів обслуговування, коли використання об'єкта за призначенням виключено. Цей показник є комплексним і кількісно об’єднує одночасно два важливих для технологічних систем показника – безвідмовність і ремонтопридатність:

$$K_{\text{г}} = \frac{T(t_0)}{T(t_0) + T_{\text{в}}}, \quad (3)$$

де $T(t_0)$ – середнє напрацювання на відмову; $T_{\text{в}}$ – середній час відновлення після відмови. Статистична оцінка коефіцієнта готовності

$$\overline{K}_{\text{г}} = \frac{\overline{T}(t_0)}{\overline{T}(t_0) + \overline{T}_{\text{в}}} . \quad (4)$$

Безпосереднє застосування законів розподілу наробітку до відмови або законів розподілу терміну служби дозволяє вирішувати завдання визначення показників надійності лише приблизно за низкою причин [583]:

– по-перше, закон вибирається формально, за зовнішніми ознаками і часто не відображує процес формування відмови;
– по-друге, для одержання експериментальних даних, що дозволяють судити про закон розподілу, необхідні значний час і витрати.

Робота об'єкта, вихідний параметр якого має закон розподілу, що не залежить від часу, характеризується раптовими відмовами. У цьому випадку відповідно до експонентного закону надійності ймовірність безвідмовної роботи $P(T) = \exp(-\lambda t)$, де λ – інтенсивність відмов. Звичайно в цьому випадку параметри стану вважають випадковими величинами й безвідмовність може оцінюватися згідно незалежній від часу ймовірності знаходження вихідного параметра в допустимих границях $P_{\text{р}}$ (квазістатична постановка [583]).

Тоді при статичних границях $$P_{\text{р}} = P\{R_1 < z < R_2\} = \int_{R_1}^{R_2} \varphi(z)dz, \quad (5)$$

при випадковій границі $$P_{\text{р}} = P\{\xi > 0\} = \int_0^{\infty} \psi(\xi)d\xi. \quad (6)$$

Встановити зв'язок між характеристиками $P(T)$ і $P_{\text{р}}$ при раптових відмовах можна, якщо розглядати параметр стану z як випадкову послідовність, спостережувану у фіксованих точках тимчасового інтервалу. Отримано

$$P(T) = \exp\left[-\left(1 - P_p nT\right)\right], \quad (7)$$

де n – середнє число фіксованих точок за одиницю часу.

У загальному випадку роботоздатність ПР і ПП та якість їх функціонування визначається не одним, а сукупністю S вихідних параметрів стану $z_1, z_2 ... z_S$, які можна вважати компонентами деякого вектора Z. Простір станів можна розділити деякою граничною поверхнею на дві області: область роботоздатних станів і область відмов. Безвідмовність у цьому випадку визначається як імовірність того, що за час T функціонування системи параметри стану z_i не виходять за відповідні границі R_{i1} і R_{i2}:

$$P(T) = P\{Z \in \Omega / t \le T\} = P\{R_{11} < z_1 < R_{12} < z_2 < R_{22} ... < R_{S1} < z_S < R_{S2} / t \le T\}. \quad (8)$$

Перетинання вектором Z у якийсь момент часу поверхні граничних станів

означає відмову. Визначальними у характеристиці процесів, що призводять до відмови об'єкта, є швидкість їх протікання [584]. Процеси, що протікають із високою швидкістю (період зміни порядку долі секунди), закінчуються протягом циклу роботи машини й знову виникають при наступному циклі. Для оцінки усередненого параметра потоку відмов μ необхідно знати щільність спільного розподілу параметра стану $z(t)$ і швидкості його зміни в часі $\dot{z}(t)$. У багатьох випадках такі процеси описуються стаціонарною випадковою функцією з нормальним законом розподілу як самого параметра стану z, так і швидкості його зміни $\dot{z}$. Тоді відповідно до формули Райса усереднений параметр потоку відмов визначають так

$$\overline{\mu} = \frac{1}{2\pi}\frac{\sigma_{\dot{z}}}{\sigma_z}\exp\left[-\frac{(R-m_z)^2}{2\sigma_z^2}\right], \tag{9}$$

де σ_z і $\sigma_{\dot{z}}$ – середньоквадратичні значення відповідно z і $\dot{z}$; R – границя.

Безвідмовність, як імовірність відсутності за час наробітку T першої параметричної відмови, визначать так

$$P(T) = \exp\left\{-\frac{T}{2\pi}\frac{\sigma_{\dot{z}}}{\sigma_z}\exp\left[-\frac{(R-m_z)^2}{2\sigma_z^2}\right]\right\}. \tag{10}$$

Процеси, що протікають із середньою швидкістю, відбуваються під час безперервної роботи ПР і ПП й виміряються хвилинами й годинами. Це, у першу чергу, стосується зміни умов навантаженності, температури тощо. Якщо розсіювання режимів навантаженності таке, що при несприятливій комбінації показників режимів параметр стану об'єкта може вийти за допустимі границі, то при функціонуванні ПР і ПП можливі раптові відмови, імовірність появи яких повністю визначається ймовірністю несприятливої ситуації. Дослідження надійності в цьому випадку розпадається на три основні етапи:

– побудова на основі теоретичних або експериментальних досліджень залежності вихідного параметра від показників навантаженності;
– ретельний статистичний аналіз умов експлуатації, імовірнісний опис показників навантаженності;

– побудова розподілу вихідного параметра.

Розподіл вихідного параметра є достатнім, щоб за формулами (5), (6) і (7) визначити оцінки надійності $P_р$ і $R(T)$.

Процеси, що протікають із низькою швидкістю, мають місце у період роботи роботизованого обладнання між періодичними оглядами чи ремонтами. До них відносяться зношування, накопичення утомних пошкоджень, корозія тощо. Такі процеси викликають зміну статистичних характеристик параметра стану у часі, у зв'язку із чим його вже не можна розглядати як стаціонарну випадкову функція. Процеси такого типу звичайно призводять до поступових відмов. При цьому зношування, як основний чинник, може викликати граничні стани різного роду. При досягненні величини зносу деякого граничного значення можуть відбуватися різкі, стрибкоподібні зміни в результаті кінематичних взаємодій функціонування ПР і ПП, що призводять до відмов. В інших випадках вихідний параметр механічної системи, що залежить від ступеня зносу кінематичних пар, не має екстремальних зон і монотонно погіршується в процесі експлуатації. При досягненні параметром стану значень, регламентованих технічною документацією, наступає параметрична відмова, найбільш проста модель якої базується на припущенні лінійної залежності вихідного параметра від величини зносу. На практиці нерідкі випадки, коли поступові відмови внаслідок зношування й раптові відмови, викликані в основному несприятливою комбінацією умов навантаженності, практично між
собою не зв'язані. Імовірність безвідмовної роботи при спільній дії цих різних:

$$P(T) = P_{зн}(t) \cdot P_р(T), \qquad (11)$$

де $P_{зн}(t)$ і $P_р(T)$ – ймовірності безвідмовності, зумовлені відповідно зношуванням і раптовими відмовами.

Якщо можливо розчленувати складну систему на окремі елементи і для кожного них окремо визначити ймовірність безвідмовної роботи, то для розрахунків показників надійності системи використовують структурні моделі (схеми). Найбільш характерний випадок, коли відмова кожного з елементів виводить із ладу всю систему – це послідовне з'єднання елементів. Приклад

застосування – зубчасті колеса, вали, підшипники як елементи механічної трансмісії у складі ПР. Відмова кожного з таких елементів призводить до відмови усієї системи. Імовірність безвідмовної роботи такої системи дорівнює добутку ймовірностей безвідмовної роботи елементів

$$P(T) = P_1(t) \cdot P_1(t) ... P_n(t) = \prod_{i=1}^{n} P_i(t). \quad (12)$$

Якщо вихід з ладу всіх означених елементів спричинений тільки раптовими відмовами, які підкоряються експонентному закону, тобто

$$P_1(t) = \exp(-\lambda_1 t);\ P_2(t) = \exp(-\lambda_2 t); ... P_n(t) = \exp(-\lambda_n t), \quad (13)$$

то для такої системи ймовірність безвідмовної роботи визначають так

$$P(t) = \prod_{i=1}^{n} \exp(-\lambda_i t) = \exp[-(\lambda_1 + \lambda_2 + ... + \lambda_n)t]. \quad (14)$$

Таким чином, імовірність безвідмовної роботи складної системи, що складається з елементів, підвержених раптовим відмовам, також підкоряється експонентному закону з параметром $\lambda = \sum_{i=1}^{n} \lambda_i$. Простота розрахунків показників надійності системи при раптових відмовах елементів за рівнянням (14) на практиці іноді призводить до того, що цією формулою користуються також і у випадках, коли причина виходу з ладу — поступові відмови. Це неприпустимо, оскільки у таких випадках є обов'язковим використання загальної формули (11).

У сучасному машинобудуванні поширене загальне резервування обладнання, зокрема, у всіх відповідальних вузлах механізмів і приводів ПР і ПП застосовують дублюючі системи мащення, ущільнення тощо.

Якщо у структурній моделі надійності обєкту n_1 елементів не дубльовані, а n_2 елементів дубльовані, то ймовірність безвідмовної роботи такої системи

$$P(t) = P_d(t) \cdot P_c(t) = \prod_{i=1}^{n_1} P_i(t) \cdot \prod_{i=1}^{n_2} \left[1 - Q_j^2(t)\right]. \quad (15)$$

Для можливості практичного застосування у розрахунках показників надійності на різних рівнях моделювання опрацьовано відповідну універсальну комп’ютерну модель, у якій основними відмовами є раптові, однак їх

інтенсивність залежить від процесів, що повільно протікають, наприклад, від процесів зношування (рис. 3). Розроблений алгоритм розрахунків показників надійності системи, вихідний параметр якої представлений у вигляді випадкової послідовності, імітує роботу N зразків кінематичної пари ПР чи ПП у реальних експлуатаційних умовах аж до їх повного зносу [584].

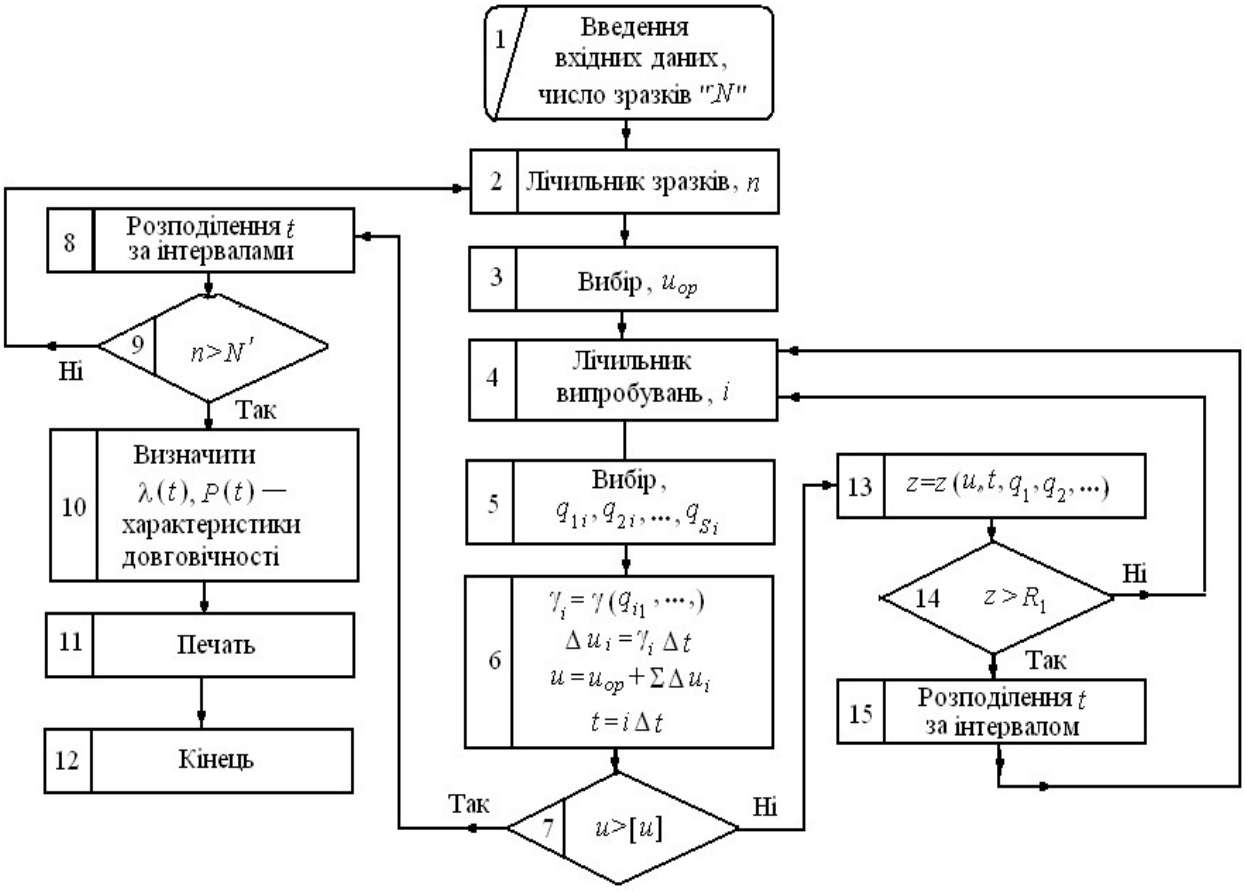


Рисунок 3. Структурна схема алгоритму розрахунку надійності об’єкта при раптових відмовах з урахуванням зносу

Для кожного зразка за методом Монте-Карло, відповідно до відомих розподілів технологічних параметрів, визначають початковий базовий розмір u_0 і критеріальний параметр a_0 (наприклад, твердість), що визначає середню швидкість зношування (оператор 3). Зразок піддають «випробуванням», для кожного з яких за методом Монте-Карло розігрують значення показників навантаженності q_1, q_2,…, q_S (оператор 5), та за прийнятою математичною моделлю швидкості зношування $V_{зн}$ (q_1, q_2,…, q_S) оцінюють (оператор 6) загальний знос u та час $t_к$ до кінця цього випробування. Обчисливши залежно від

u, $t_к$ і характеристик навантаженності вихідний параметр об'єкта z (оператор 13), встановлюють (оператор 14) наявність раптової параметричної відмови. У випадку відмови до інтервалу, що відповідає часу його появи, додається одиниця (оператор 15). «Випробування» проводяться доти, поки знос зразка не перевищить допустимого значення (поступова відмова). Потім переходять до «випробувань» наступного зразка. Розподіл моментів параметричних відмов за часовими інтервалами дозволяє визначити для кожного інтервала інтенсивність відмов $\lambda(t)$ з наступною оцінкою ймовірності безвідмовної роботи $P(t)$ (оператор 10). Запропонована модель дозволяє вирішувати практичні задачі з порівняння різних варіантів конструкцій кінематичних пар ПР і ПП, обґрунтовувати раціональний розподіл навантаження та норм надійності між елементами механічних систем, приводів тощо.

За припущенням, що елементи системи виходять з ладу незалежно один від одного, і відмова кожного елемента призводить до відмови усієї системи, виконується нерівність

$$P_1(t)\cdot P_2(t)\cdots P_n(t)\geq P^{тр},$$

де $P^{тр}$ – задана при проектуванні надійність системи.

Для оптимізації рівня надійності підсистеми гідроприводу гексаподу використано метод раціонального розподілу надійності елементів [584]. Так,

ля системи, що має n елементів надійності, розташуємо показники надійності у порядку зростання $P_1 \leq P_2 \leq ... \leq P_n$. Кожен із показників $P_1, P_2, \cdots, P_k$ збільшують до одного і того ж значення P_0^{TP}, а починаючи з $P_{k+1}, \cdots, P_n$ – не змінюють. Номер k вибирають за максимальним значенням j, для якого виконуються умови

$$P_j \leq \left(P^{тр} \Big/ \prod_{j=1}^{n+1} P_j \right)^{\frac{1}{j}} = r_j, \; P_0^{тр} \leq \left(P^{тр} \Big/ \prod_{j=1}^{n+1} P_j \right)^{\frac{1}{k}}, \qquad (16)$$

де $P_{n+1} = 1$ приймається за визначенням.

Очевидно, що надійність системи після знаходження $P_0^{\text{тр}}$ задовольняє умовам (16), оскільки нове значення показника $P^{\text{тр}}$ дорівнює

$$\left(P_0^{\text{тр}}\right)^k \cdot P_{k+1} \cdots P_n = P^{\text{тр}} .$$

Для гексаподу, що має шість паралельних механізмів поступального руху штанг, вирізнено три підсистеми (1 – гідропривода, 2 – шарнірні опори штанг, 3 – вузла шпинделя) і визначено необхідність дотримання умови

$$P_{\text{г}}^6 \cdot P_{\text{с}}^{12} \cdot P_{\text{ш}} \geq P^{\text{тр}} ,$$

де $P_{\text{г}}$ – показник надійності кожного з шести незалежних модулів підсистеми гідроприводу; $P_{\text{с}}$ – показник надійності кожного з дванадцяти сферичних шарнірів підсистеми опор; $P_{\text{ш}}$ – показник надійності електромеханічного приводу підсистеми вузла шпинделя.

Виходячи із статистичних значень: $P_{\text{г}}$=0,97; $P_{\text{с}}$ =0,99; $P_{\text{ш}}$ =0,95, отримано

$$P = P_{\text{г}}^6 \cdot P_{\text{с}}^{12} \cdot P_{\text{ш}} = 0,97^6 \cdot 0,99^{12} \cdot 0,95 = 0,83 \cdot 0,89 \cdot 0,95 = 0,71 .$$

Для гексапода з підсистемою привода поступального руху штанг при $P_{\text{к}}$ =0,96 отримано: $P = P_k^2 \cdot P_{\ddot{o}}^3 \cdot P_{\ddot{o}} = 0,96^2 \cdot 0.99^3 \cdot 0,95 = 0,84$

З метою визначення найбільш ефективних напрямів підвищення проектного значення показника надійності гексапода до рівня $P^{\text{тр}}$ =0,84 визначено раціональний розподіл значень показників надійності підсистем. Спочатку припущено, що k =1, тоді за формулою (16) отримано

$$P_0^{\text{тр}} = \left(\frac{0,84}{0,89 \cdot 0,95 \cdot 1,0}\right)^{\frac{1}{1}} = 0,999 .$$

В результаті отримано $P = 0,999 \cdot 0,89 \cdot 0,95 = 0,84$, але такий розподіл показників надійності підсистем не є раціональним, оскільки для підсистеми 1, що складається з шести незалежних модулів поступального руху, уявляється практично неможливим і економічно недоцільним подальше підвищення

показника з $P_г$ =0,97 до $P_г = \sqrt[6]{0,999} = 0,9999999$. Із формули (16) визначено раціональний розподіл показників надійності для підсистем

$$r_1 = \left(\frac{0,84}{0,89 \cdot 0,95 \cdot 1,0}\right)^{\frac{1}{1}} = 0,999;\ r_2 = \left(\frac{0,84}{0,95 \cdot 1}\right)^{\frac{1}{2}} = 0,88;\ r_3 = \left(\frac{0,84}{1}\right)^{\frac{1}{3}} = 0,94.$$

В результаті отримано $P_1 < r_1, P_2 < r_2, P_3 > r_3$, у цьому разі найбільше значення j за умови $P < r$ дорівнює j=2, отже прийнято k=2 і визначено $P_0^{тр} = \left(\frac{0,84}{0,95 \cdot 1,0}\right)^{\frac{1}{2}} = 0,88$. Це означає, що показники надійності для підсистем 1 і 2 необхідно підвищити відповідно з 0,83 до 0,88 і з 0,89 до 0,94. Для підсистеми 3 показник надійності можна залишити на попередньому рівні. В результаті раціонального розподілу показників надійності для трьох підсистем гексаподу і системи в цілому отримано $P_г = \sqrt[6]{0,88} = 0,98$; $P_с = \sqrt[12]{0,94} = 0,995$; $P_ш$=0,95 і $P = P_г^6 \cdot P_с^{12} \cdot P_ш = 0,98^6 \cdot 0,995^{12} \cdot 0,95 = 0,88 \cdot 0,94 \cdot 0,95 = 0,84$,

тобто витримано проектні вимоги щодо надійності механізму гексаподу.

Опрацьовано алгоритм структурного аналізу надійності механізмів ПП, розроблено практичні рекомендації, щодо оптимального розподілу норм надійності між підсистемами гексаподу на етапі проектування.

SECTION 10. METALLURGY AND ENERGY

DOI 10.46299/ISG.2021.MONO.TECH.II-610-621

10.1 Analysis of methods for determining density and compressibility factor of gaseous energy carriers

When designing energy meters and systems for measuring physical and mechanical parameters of energy carriers, mathematical models are used that contain parameters related to the properties of the controlled fluid: density, viscosity – for liquids, compressibility factor, isentropic exponent, density, viscosity, Joule-Thomson coefficient – for gases. Calculating methods with different scope and methodical error are used to determine these parameters. Misuse of such methods can lead to distortion of design results. So it is relevant to solve the task of choosing a method for determining properties for a particular fluid and for a certain range of its state parameters in order to reduce additional errors arising within design process.

Numerous methods were proposed to calculate the compressibility factor and density of energy carrier, which are based on the principle of the corresponding states and special equations of state. The standards GOST 30319.2-96 [585], DSSDD 4-2002 [586], GSSSD MR 118-05 [587], DSTU ISO 12213-2,3:2009 [588, 589], ISO 20765-1:2005 [590] are based on the methods of well-known world centres for the studying physical properties. In addition, scientific and technical works [591-593] present methods for calculating the compressibility and density of components of energy-intensive gas mixtures. The methods of the above sources have different requirements for the input data for the calculation, different calculating algorithms, but the scope of many of them are similar. So it is difficult to choose a method for a specific task. The purpose of the study is to analyse and systematize methods for determining the compressibility factor (coefficient) and density of energy carrier according to the specified characteristics in order to use them for the designing energy metering systems and instruments for measuring physical and mechanical parameters.

Mathematical models of transducers of physical and mechanical parameters contain flow rate equations. It is convenient to apply the flow rate equation in volumetric units for gas flows which contains the compressibility factor (coefficient).

The flow rate equation in mass units that is used for steam flows (water steam, ammonia, etc.) contains steam density. Although it should be noted that in the single-phase area, the density of gas or steam is uniquely associated with the compressibility factor. In particular, the following equation [585] is known, which relates the density of the fluid with its compressibility factor:

$$\rho = PT_b\rho_b/(P_bTK), \tag{1}$$

where ρ is gas density at working conditions; P, T are absolute pressure and temperature of gas; P_b, T_b are pressure and temperature at base conditions; K is compressibility coefficient; ρ_b is gas density at base conditions.

According to the equation (1) one can calculate the density at working conditions, having a compressibility coefficient, for known pressure, temperature and density of fluid at base conditions, and vice versa: one can calculate the compressibility coefficient, having the density at working conditions. This allows to adapt the methods for calculating density or compressibility coefficient to the tasks of energy metering and designing transducers of physical and mechanical parameters.

The authors highlighted the following features for systematizing the methods for calculating the properties: parameter for which the method is intended; scope; accuracy in the application area; the possibility of algorithmization and software implementation of the method.

Analysis of methods for calculating density and compressibility factor of gases and gas mixtures [585-593] shows that according to the principle, structure and application algorithm these methods should be divided into the following groups:

1) methods based on the theory of similarity and the principle of the corresponding states;
2) methods that use the virial decomposition of characteristics P, V and T;
3) methods that use multi-constant generalized equations of state.

The first group combines methods that apply correlations that associate the compressibility coefficient with the reduced gas parameters. From the principle of similarity follows the principle of the corresponding states of comparable substances: the comparable substances are in the so-called corresponding states, when

dimensionless reduced parameters are equal. The critical states of real gases are the reducing points. The reduced equation is common to a certain class of substances. It shows that two different gases, in which, for example, two of the three reduced variables are the same, have the same third reduced variable. Based on this principle, it is possible to determine approximately the properties of a certain substance, if they are known for the other substances similar in structure and composition. The simplest two-parametric correlations that connect the compressibility coefficient K and the reduced parameters of substances have the form $K = f(T_r, P_r)$. To increase the accuracy of determining the compressibility coefficient, the third parameter is introduced into the correlation. This is the critical compressibility factor Z_{cr} or the acentric factor ω. Then correlating dependence has the form:

$$K = f(T_r, P_r, Z_{cr}) \text{ or } K = f(T_r, P_r, \omega), \tag{2}$$

where T_r, P_r are reduced temperature and reduced pressure.

The use of correlations based on principle of corresponding states for calculating the compressibility coefficient is justified for simple non-polar gases, for which three-parametric correlations allow calculation with an error not exceeding 3%. The use of even the most complex correlations of this group for polar gases gives results with an error that reaches 5-10%. Methods based on principle of corresponding states require graphs and nomograms, which complicates their program implementation.

The second group combines methods that use a theoretically proved virial decomposition of gases properties P, V and T:

$$Z = 1 + B(T)/V + C(T)/V^2 + D(T)/V^3 + \ldots \tag{3}$$

Constants $B(T)$, $C(T)$, $D(T)$, in addition to temperature, depend on the potential of intermolecular interaction, interaction energy and inter-atom distances. The equations of the virial type formed the basis of many modern methods for calculating the compressibility factor of gases and gas mixtures (for example, modified method GERG 91 mod., method AGA8-92DC [585]).

The third group combines methods that use a large number of generalized multi-state equations. These methods analyze the corresponding generalized equations of gas

state and as a result the most accurate, though complex correlations are obtained. These correlations associate parameters P, V, T and compressibility factor Z.

It is difficult to obtain theoretically proved generalized equations of state with high accuracy of calculation of compressibility coefficient of multicomponent mixtures of energy carriers. Therefore, the approximating equations of state were developed based on high-precision experimental data on compressibility coefficient of natural gas. Methods based on approximating equations are not inferior, but are often better than methods based on generalized equations of state according to the calculating accuracy of compressibility coefficient of natural gas. Some of these methods are certified by national standards as high-precise calculation methods.

The methods of the second and the third groups are well provided for algorithmization and software implementation for their use in energy metering systems and systems for measuring their physical and mechanical parameters. One of their disadvantages is the necessity to carry out an iterative solution for equation of state, which contains two unknown interrelated parameters (density, compressibility factor).

It is known that hydrocarbons are the main components of most energy carriers. Although they have similar chemical structure, their physical properties (isentropic exponent, compressibility factor, density, viscosity, calorific value) can vary significantly. A universal equation of state, which describes the properties of such substances with sufficient accuracy for engineering problems, has not been developed up to date. Each of them has its limitations, its specific advantages for use in practice.

Equations of state for individual clean components have been developed to describe accurately the properties of energy carriers in a wide range of changes of pressure and temperature. In particular, the series of monographs of the Standard Reference Data State Service (DSSDD), which begins with the monograph [592], contains the thermodynamic properties of hydrocarbons (methane, ethane, propane, ethylene) and some other gases (nitrogen, oxygen) that are part of natural gas. These monographs analyse a large number of experimental data on the thermodynamic properties of hydrocarbons and some non-hydrocarbon components (in particular nitrogen, oxygen) and present the averaged equations of state and the results of

calculating the properties of individual components according to these equations of state. The calculating results are presented in tables of property according to the following list: density, compressibility factor, enthalpy, entropy, isochoric and isobaric heat capacity, sound speed, volatility and a number of other thermodynamic parameters necessary in practice. Calculation of parameters in tables using the state equation of liquid and gaseous phases, that satisfies the Maxwell rule, provides complete thermodynamic consistency of different values.

The most important characteristics of the methods for calculating the thermodynamic properties of hydrocarbons and some non-hydrocarbon components presented in the series of monographs of the DSSDD are given in Table 1.

The American Institute of Chemical Engineers AIChE proposes one of the simplest methods for calculating hydrocarbon density based on the virial type equation [593]. Since for many engineering tasks the density of gas in working conditions is half the critical density, for its calculation it is enough to limit it only to the second virial coefficient, which gives sufficient accuracy (the error does not exceed 0.25%). Then virial equation can be written as [593]

$$\rho_{mol}^2 + \frac{1}{B}\rho_{mol} - \frac{P}{BRT} = 0, \tag{4}$$

from which an equation for calculating the molar density is obtained:

$$\rho_{mol} = -\frac{1}{2B} - \frac{1}{2}\sqrt{\frac{1}{B^2} + \frac{4P}{BRT}}, \tag{5}$$

where ρ_{mol} is molar density of gas, mol/m^3; B is the second virial coefficient, m^3/mol; P is absolute pressure of gas, Pa; R is universal gas constant, J/(mol·K); T is temperature of gas, K.

Table 1.
Methods for calculating density and compressibility factor

№	Method (Equation of state)			Scope of application	Methodical error
1	Series of monographs DSSDD	Methane [592]		$0.1 < P < 30$ MPa $250 < T < 400$ K	0.01÷0.09%
2		Ethane		$0.1 < P < 30$ MPa $240 < T < 400$ K	0.01÷11%
3		Propane		$0.01 < P < 30$ MPa $100<T<700$ K	0.01÷0.14%
4		Ethylene		$0.1 < P < 30$ MPa $250 < T < 400$ K	0.01÷12%
5		Nitrogen		$0.1 < P < 30$ MPa $200 < T < 400$ K	0.02÷0.6%
6		Oxygen		$0.1 < P < 30$ MPa $250 < T < 400$ K	0.01÷0.35%
7	Equation AIChE [593]			$\rho_r < 0.5$	≤ 0.25%
8	Technique [587]			$200 \le T \le 400$ K, $P \le 10$ MPa, $\rho_r < 0.5$	0.25% ($T_r \ge 1.4$, $P \le 5$ MPa)
9	Based on the principle of corresponding states (generalized diagrams)		For simple non-polar gases [585]	$1 \le T_r \le 4$ $0 \le P_r \le 7$	≤ 3%
			For polar gases [585]		5÷10%
10	Method BWR-20 (based on Benedict–Webb–Rubin equation of state) [585]			$0.8 < T_r < 5.5$ $\rho_r < 1.8$	0.2%
11	Yamada method BWR-44 (based on Benedict–Webb–Rubin equation of state) [591]			$0.8 < T_r < 5.5$ $\rho_r < 2.7$	0.18%
12	Redlich–Kwong equation of state [591]			$1 < T_r \le 4$ $0 < P_r < 7$	Soave - 2% Sugie-Lu – 0.5%
13	Natural gas	Hall-Yarborough method [593]		$T_r > 1.05$ $\rho_r < 0.5$	0.3%
14		Equation of Pacific Energy Innovation Association [593]		$0 < P < 34.5$ MPa $233 < T < 390$ K	0.5%
15		Method NX 19 mod. [585]		$0.1 < P < 7.0$ MPa $250 < T < 340$ K	0.12÷0.57%
16		Method GERG-91 mod. [585]		$0.1 < P < 12.0$ MPa $250 < T < 340$ K	0.11÷0.2% (without H_2S)
17		Method VNITS SMV [585]		$0.1 < P < 12.0$ MPa $250 < T < 340$ K	0.11÷0.36%
18		DSSDD 4-2002 [586]		$0.1 < P < 25.0$ MPa $250 < T < 320$ K	≤ 0.5%
19		ISO 12213.2 (AGA8-92DC) [588]		$0.1 < P < 30.0$ MPa $250 < T < 350$ K	≤ 0.1%; 0.2÷0.5% ($T < 275$K, $P > 10.0$ MPa)
20		ISO 12213.3 (SGERG-88) [589]		$0.1 < P < 12.0$ MPa $263 < T < 338$ K	≤ 0.2%
21		ISO 20765-1 [590]		$P \le 30$ MPa, $265 \le T \le 350$ K	≤ 0.2%

According to AIChE, the equation of the second virial coefficient is:

$$B = a + \frac{b}{T} + \frac{c}{T^3} + \frac{d}{T^8} + \frac{e}{T^9}, \quad (6)$$

where *a, b, c, d, e* are constants proposed in the AIChE works for a large list of substances, including lots of hydrocarbons [593].

The technique [587] allows one to calculate the properties of gases and their mixtures. The mixtures can include the following components in different combinations: methane, ethane, propane, n-butane and isobutane, n-pentane and isopentane, hexane, nitrogen, carbon dioxide, hydrogen, oxygen, argon, carbon monoxide, ethylene, helium-4, hydrogen sulfide and ammonia. The scope of the technique is limited by the range of absolute temperatures $200 \le T \le 400$ K and by the range of pressures $0.1 \le P \le 10$ MPa; the density of the mixture should not exceed half the pseudocritical density (ρ_r <0,5). The error of determining the compressibility factor and density does not exceed 0.25% for $T_r \ge 1.4$, $P \le 55$ MPa.

Thus, today a large number of methods for calculating the properties of hydrocarbons and non-hydrocarbon components of energy-containing gas mixtures have been proposed. These methods calculate density and compressibility factor for pure components. Having the density and compressibility coefficient of pure components and the component composition of mixture and applying the rules for combining pure components, you can get the density and compressibility coefficient of mixtures. However, this method gives good results only for mixtures of gases, the state of which is close to ideal. For real gas mixtures at high pressures, the methods should be applied that are designed especially for calculating mixtures properties.

The authors also systematize the methods for calculating the density and compressibility coefficient of energy-intensive gas mixtures. In the well-known scientific and technical literature [585-590] special methods for calculating the physical properties of technically important mixtures with a limited range of component concentrations are proposed. In addition, [591] provides a number of generalized classical equations of state that can also be used to calculate the density and compressibility of energy- intensive mixtures.

Among the methods [591], based on classical equations of state, the following methods should be recommended for calculating the compressibility coefficient of gaseous mixtures: methods based on Redlich–Kwong equation of state (Soave, Sugi-Liu methods); methods that use the Benedict–Webb–Rubin equation of state (BWR-24 and BWR-44).

The methodical error of determining the compressibility coefficient for Redlich–Kwong equation is δ_m = 5% for reduced temperature $T_r \leq 4$ and the reduced pressure $0 \leq P_r \leq 7$. Soave and Sugi-Liu methods within the same temperature and pressure ranges provide the following methodical errors of determining the compressibility coefficient: δ_m = 2% for the Soave equation; δ_m = 0.5% for the Sugi-Liu equation. Since the methodical error of these methods is significant, they are used only as methods for approximate calculation or for interpolation problems with known exact values of compressibility coefficient at several points [593].

The modified Benedict-Webb-Rubin equation BWR-24 allows one to calculate the compressibility coefficient of non-polar gases with reduced density that does not exceed 1.8. For reduced temperature T_r from 0.8 to 5.5 methodical error is δ_m =0.2 %.

Todoshi-Yamada proposed a modification BWR-44 of Benedict-Webb-Rubin equation for calculating the compressibility coefficient of gases with a reduced density up to 2.7. The equation BWR-44 allows one to calculate the compressibility coefficient of mixtures with error δ_m =0.18 %.

In standard [585] for calculating the compressibility coefficient of natural gas, four methods are proposed, based on state equations and experimental data on the compressibility coefficient of natural gas:

- modified method NX-19 mod., based on experimental data from the American Gas Association AGA;
- modified method of the European Group of Gas Research GERG-91 mod., based on equation of virial type;
- method of the American Gas Association AGA8-92DC;
- method of the All-Russian Research Centre for Standardization, Information and Certification of Raw Materials, Materials and Substances (VNITS SMV).

The AGA8-92DC and VNITS SMV methods require data on the complete component composition of gas and have an iterative algorithm for calculating the compressibility coefficient. Methods NX-19 mod. and GERG-91 mod. are based on simplified data on gas composition and have a linear calculating algorithm. So, they have some advantages while implementing in the systems for measuring technological parameters. Standard [585] provides information about the scopes of methods and errors in determining the compressibility coefficient. Errors of methods for general application are given in Table 1.

Hall–Yarborough method [593] is designed to calculate the compressibility factor of natural gas. The method provides an error of calculation less than ±0.3% for reduced temperatures T_r > 1,05 and for high reduced pressures. However, it is necessary to have data on complete component composition of gas mixture in order to use the method. The solution of the main equation of the method is obtained iteratively.

The Pacific Energy Innovation Association method [593] is designed to determine the super-compression factor of natural gas in the pressure range up to 34.5 MPa, temperature range from –40 to +116 °C for mixtures with a specific weight from 0.554 to 1.0 and concentration of carbon dioxide and nitrogen - each up to 15%.

The method DSSDD 4-2002 [586] is developed with authors participation to calculate the compressibility coefficient of natural gases at pressure from 12 to 25 MPa. The equation for calculating the compressibility coefficient is developed based on the principle of corresponding states:

$$K = \sum_{i=0}^{9} \sum_{j=0}^{3} a_{ij} T_r^j P_r^i, \tag{7}$$

where T_r is reduced temperature, K; P_r is reduced pressure, MPa; a_{ij} are equation coefficients. The values of coefficients a_{ij} and the dependences for calculation the reduced pressure and temperature are given in [586].

The technique is recommended for microprocessor calculators of natural gas quantity at automobile gas filling compressor stations. It can be used in the following conditions: natural gas density in base conditions from 0.6673 kg/m^3 (which

corresponds to pure methane) to 0.7228 kg/m^3, temperature range from 250 K to 320 K, the molar fraction of carbon dioxide and the molar fraction of nitrogen do not exceed 15%. The relative error of determining the compressibility coefficient in these conditions does not exceed ±0.5%. The relative error of calculation also does not exceed ±0.5% while calculating the compressibility coefficient for the pressure range from 0.1 to 12 MPa and for the specified ranges of temperature and density in base conditions.

Standard ISO 12213-2:2006 [588] contains a method for calculating the natural gas compressibility factor based on AGA8-92DC equation of state and data on full component gas composition. Standard ISO 12213-3:2006 [589] contains a method for calculating the compressibility factor based on the virial equation of state SGERG-88 using simplified set of data on gas composition.

Methods of both standards [588] and [589] use a complex iterative algorithm for calculation. To solve the state equation AGA8-92DC [588] it is necessary to implement an iterative process with serial clarification of density in working conditions and compressibility factor. To calculate the compressibility factor according to the SGERG-88 equation [589] it is necessary to implement two iterative processes: the first is to calculate the transitive parameters in the cycle with serial clarification of density in base conditions and the higher calorific value of gas; the second is to calculate the molar density of gas in working conditions in a cycle with a serial clarification of gas pressure. So, despite the fact that the SGERG-88 method calculates the compressibility factor using a simplified data on gas composition, the algorithm of the method is complex and requires not less computational capacities than the methods based on complete data on gas composition.

To calculate the compressibility factor using SGERG-88 method, a set of input data can be formed in different ways. The main method realization contains the following parameters: gas pressure and temperature, higher calorific value in volumetric units, relative (to air) density in base conditions, carbon dioxide and hydrogen content. To determine the calorific value of natural gas techniques are proposed using the complete data on gas composition. Thus, the method loses the

advantage of simplicity of its input data set.

The international standard ISO 20765-1 [590] presents a fundamental equation that shows the relationship of Helmholtz free energy with the reduced density, reduced temperature and gas composition. The equations for determining thermodynamic properties are derived from the equations of partial derivatives of Helmholtz free energy. The method proposed in ISO 20765-1 [590] is designed to calculate the properties of mixtures in a gaseous state and has a wide pressure scope ($P \leq 30$ MPa) and temperature ($250\ \mathrm{K} \leq T \leq 350\ \mathrm{K}$).

The results of systematization of methods for calculating the properties of pure components and energy-intensive mixtures of gases according to the above features are presented in Table 1. The characteristics of methods for calculating the properties of gas mixtures are given for the main range of composition that is declared in the relevant work. Most of the methods for calculating the physical properties of energy carriers are based on equations of state with interrelated parameters (pressure – density, compressibility factor – density).

Algorithmization of above methods provides solving the following tasks: preparing the input data; selecting a numerical method for solving a nonlinear state equation with minimum iterations; developing an algorithm for choosing the initial approximation, which would ensure the convergence of the method solution; determining the criterion for exiting the iterative process.

When the connection lines of parameters P, V, T do not change significantly it is easy to choose a numerical method for solving the equation of state for a single-phase area. In this case the choice of method depends on the properties of connection lines of parameters P, V, T: the presence or absence of extremes, the maximum value of the derivative at the interval of root. If there is transition through the phase separation lines, the other equations (saturation line equations, etc.) should be added to the equation of state. Then it is necessary to apply methods for solving systems of equations.

According to the results of comparative analysis of methods for calculating the density and compressibility coefficient of energy carriers, an information base was

formed to calculate energy carriers' properties and to develop new methods for determining properties. The considered methods and their algorithms can be used while designing energy metering tools and systems for measuring physical and mechanical parameters of energy carriers. They allow to reduce errors in determining properties, and, accordingly, to achieve higher quality of design and measurement.

DOI 10.46299/ISG.2021.MONO.TECH.II-622-632

10.2 Розвідка гірничих виробок вугільних шахт в умовах високих температур та загазованості рудничної атмосфери

Вугільна промисловість є важливою складовою енергетичної безпеки України, а вугільна шахта унікальне і складне виробництво з особливими природними і виробничими небезпеками. Для вітчизняних вугільних шахт властиві складні гірничотехнічні та гірничо-геологічні умови видобутку корисної копалини. З переходом гірничих робіт вугільних шахт на глибокі горизонти зростає негативний вплив підвищених гірничого тиску, температури вміщуючих порід, газорясності та інших факторів. Роботи підвищеної небезпеки (вибухонебезпечні, пожежно-небезпечні, небезпечні за обваленнями виробок та гірничих порід, раптовими проривами рудничних газів, вугілля, порід, води тощо) проходять в умовах непередбаченості, раптової зміни гірничо-геологічних умов або природних сил, при недотриманні вимог нормативно-правових актів з охорони праці з боку персоналу підприємства та спричиняють тяжкі наслідки, які супроводжуються численними жертвами та матеріальними збитками.

Аварія в шахті - це ситуація, що виникла раптово і тягне за собою не тільки порушення нормальної роботи підприємства і матеріальний збиток, але і загрози здоров'ю і життю людей, що працюють в цей час під землею [594]. На основі даних «Карт обліку аварій» з архівів НДІ гірничорятувальної справи і пожежної безпеки «Респіратор» та Центрального штабу Державної воєнізованої гірничорятувальної служби у вугільній промисловості, літературних джерел [595, 596], нами встановлені статистичні дані щодо виникнення аварій за їх видами на шахтах України в 1980-2018 рр. (див. рис. 1).

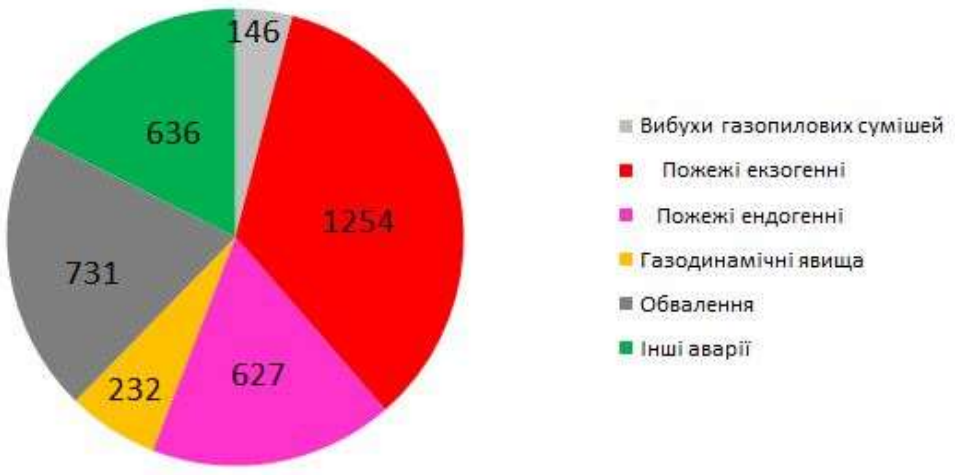


Рисунок 1. Статистика аварій за видами на шахтах України в 1980-2018 рр.

Практика реагування на надзвичайні ситуації (далі – НС) свідчить, що від забезпечення безпеки людей, які виконують роботи щодо ліквідації аварій та їх наслідків, багато в чому залежить якість виконання ними робіт, і, як наслідок, ефективність захисту постраждалого населення та персоналу підприємств.

Нові ризики і загрози безпеці людей і держав, які з'явилися останнім часом, вимагають і відповідної до них підготовки. Якщо цього не відбувається, масштаби втрат набувають катастрофічного характеру.

Як приклад можна навести факти недавнього часу. 11 вересня 2001 р., під час терористичного нападу на нью-йоркський центр міжнародної торгівлі, при виконанні рятувальних робіт загинуло 450 аварійних працівників (343 пожежних і 87 поліцейських), приблизно шоста частина всіх жертв теракту, понад 100 аварійних працівників були важко травмовані [597].

Вже через три місяці після цієї події в Нью-Йорку відбулася конференція, присвячена проблемам захисту аварійних працівників. Один з її головних висновків звучав так: «…у період лих безпека нації залежить від професіоналізму фахівців надзвичайного реагування. Ніякі події не продемонстрували цю істину так драматично, як катастрофічні терористичні напади 11 вересня 2001 р. Це істинно кожен раз, коли нація стикається з великими природними лихами або техногенними аваріями. Фахівці надзвичайного реагування є обов'язковою

частиною системи безпеки країни. Для того щоб гарантувати, що ця система зможе гідно зустріти виклики великих лих, нація повинна вжити всіх необхідних заходів, щоб захистити життя і здоров'я аварійних працівників від ризиків властивих їх роботі…» [598].

На конференції, в якій брали участь безпосередні учасники вересневих подій, керівниками органів влади і служб постійної готовності, були прийняті рішення щодо проведення науково-дослідницьких робіт з питань організаційної та технічної готовності, а також індивідуального захисту аварійних працівників. Результати виконаних досліджень, в ході яких були виявлені багато недоробок в цій галузі, були опубліковані і стали об'єктом громадського обговорення. Звіти «Protecting emergency responders» [599, 600] не тільки вказують на старі помилки, але і досліджують проблему через призму нових загроз.

Таке ставлення до захисту людей, які ризикують своїм здоров'ям і життям, в ім'я безпеки своїх співгромадян, можна тільки вітати. А позитивний досвід таких досліджень повинен бути вивчений і застосований в наукових розробках ефективних і безпечних технологій (тактики) гірничорятувальних робіт у вугільних шахтах.

Специфічною особливістю діяльності гірничорятувальних підрозділів в умовах вугільних шахт є те, що всі виконувані роботи пов'язані з небезпекою травмування та ризиком для життя гірничорятувальників через вірогідність вибухів газопилових сумішей, роботи в умовах високих температур, загазованості і задимленості рудничної атмосфери, отруєння продуктами згоряння речовин (вугілля, деревини, стрічок конвеєрів, оболонок кабелів тощо), обвалів у гірничих виробках, отримання хімічного ураження тощо.

Рівень травматизму гірничорятувальників при проведенні робіт з ліквідації аварій та їх наслідків залишається високим – тільки за годи незалежності України загинуло 41 респіраторник та командир ДВГРС (рис. 2).

Рисунок 2. Смертельний травматизм гірничорятувальників в 1991-2020 рр. за різними видами травм

За видами небезпечних та шкідливих виробничих факторів, що впливають на гірничорятувальників, травми умовно можна поділити на дію факторів вибухів газопилових сумішей (повітряна ударна хвиля і фронт полум’я; отруйні та шкідливі продукти горіння (CO, CO_2, CH_4, N_2, H_2S тощо), теплового ураження, отруєння продуктами горіння та сильнодіючими отруйними речовинами, механічні.

Розвідка гірничих виробок вугільних шахт підрозділами ДВГРС при ліквідації НС організується для з'ясування обстановки на місці аварії, характеру і розміру аварії, розшуку постраждалих, стану виробок, вентиляційних споруд і вентиляції, наявності і стану засобів зв'язку і протиаварійних засобів на аварійній дільниці тощо [601, 602]. Гірничорятувальниками роботи по розвідці, розгазуванню гірничих виробок після вибухів газопилових сумішей, підземних пожеж ведуться в екстремальній газовій і температурній обстановках, вимагають великих енергетичних витрат і супроводжуються високим психоемоційним навантаженням. Розглянемо умови в яких проводиться розвідка загазованих гірничих виробок. Умови розвідки в провітрюваних за рахунок шахтної депресії виробках складні та небезпечні для

особового складу гірничорятувальних підрозділів: температура навколишнього середовища – 27…40 ^{0}C; склад повітря: CO більше 0,0016 %, O_2 – 15…20 %, CH_4 до 2 %; задимленість суцільна. В тупикових та не провітрюваних виробках умови розвідки не менш складні: температура навколишнього середовища – 27…40 ^{0}C і більше; склад повітря: CO - 3…4 %; O_2 – 1…5 %, CH_4 - до 90 %; видимість - до суцільної [603, 604].

Організація і проведення розвідки регламентується Статутом ДВРГС по організації і проведенню гірничорятувальних робіт [605]. Але відступи від вимог Статуту приводять до травматизму гірничорятувальників. Так, організаційні та технічні причини смертельного ураження особового складу ДВГРС у гірничих виробках ш. «Краснолиманська», «Гірська» «Жовтнева», ім. О. Ф. Засядька, ім. А. І. Гайового та ін. практично ідентичні: не забезпечення сталого режиму провітрювання аварійної дільниці, який забезпечив би найбільш сприятливі умови для ліквідації аварії та її наслідків; проведення розвідки відділенням в умовах високих температур без засобів групового та індивідуального протитеплового захисту; розробка оперативних планів ліквідації аварій на розвідку, які не передбачали дієвих заходів щодо безпеки робіт гірничорятувальників в умовах високих температур; відсутність на підземній базі стійкого зв’язку з працюючими відділеннями і з командним пунктом; відсутність на підземній базі контролю змін температури і складу вихідного з аварійної виробки струменю повітря; виконання розвідки відділеннями при припиненні провітрювання аварійної дільниці і при різкому підвищенні температури рудничного повітря; поділу відділення на групи в умовах непридатної для дихання атмосфери; відсутність ведення розрахунків допустимої тривалості безперервної роботи відділень в умовах високих температур навколишнього середовища тощо.

Алгоритм роботи командного пункту з ефективної та безпечної організації та проведення розвідки гірничих виробок наведено на рис. 3.

1	Визначити мету розвідки та завдання на її проведення
⇩	
2	Розробити оперативний план проведення розвідки
⇩	
3	Провести тактичні розрахунки проведення розвідки (розрахунки балансу часу на організацію оперативних дій і оптимальних маршрутів руху відділень ДВГРС, можливість проведення роботи за витратами кисню, по накопиченню тепла, по матеріальному забезпеченню тощо)
⇩	
4	Розробити планограму проведення розвідки
⇩	
5	Визначити необхідні сили та засоби для проведення розвідки (основні відділення, резервні відділення, командний склад відповідальний за роботу відділень, підземної бази, медичне забезпечення тощо)
⇩	
6	Розробити заходи щодо матеріально-технічного забезпечення розвідки
⇩	
7	Провести інструктажі командному та особовому складу щодо безпечного виконання розвідки
⇩	
8	Провести вчення-гру з командним та особовим складом, який приймає участь у проведенні розвідки
⇩	
9	Організувати та провести медичний контроль стану здоров'я командному та особовому складу перед спуском в шахту
⇩	
10	Забезпечити сталий режим провітрювання та кондиціювання виробок аварійної дільниці
⇩	
11	Організувати та забезпечити неперервний зв'язок: Командний пункт – Підземна база (резервне відділення) – Відділення в розвідці
⇩	
12	Провести розвідку гірничих виробок
⇩	
13	Припинити розвідку в разі ускладнень регламентованих Статутом ДВРГС по організації і проведенню гірничорятувальних робіт
⇩	
14	Проаналізувати результати розвідки та прийняти рішення на подальші оперативні дії

Рисунок 3. Алгоритм роботи командного пункту з організації та проведення розвідки гірничих виробок

Багатоаспектна проблема розвитку безпеки та ефективності роботи гірничорятувальників в умовах високих температур навколишнього середовищі та загазованості стоїть перед гірничорятувальниками. Це, на наш погляд:

розробка заходів щодо забезпечення підготовки до ефективної і безпечної розвідки гірничих виробок; вдосконалення функціональних задач підземної бази і резервного відділення; вдосконалення технології відновлення тупикової гірничої виробки у стан відповідний Правилам безпеки у вугільних шахтах; розробка заходів безпеки щодо виконання розвідки гірничих виробок тощо.

Розроблені заходи щодо забезпечення ефективної і безпечної розвідки та розгазування тупикових гірничих виробок наведені на рис. 4.

1	Провести оцінку гірничотехнічних та гірничо-геологічних умов ведення робіт, оперативної обстановки (довжина виробки, переріз, кут ухилу, стан кріплення, захаращення машинами та механізмами, стан провітрювання, склад і температура рудничного повітря тощо)
2	Сформулювати основну мету і задачі розвідки гірничих виробок
3	Розробити оперативний план розвідки гірничих виробок
4	Провести необхідні розрахунки сил та засобів відновлення виробки і розвідки
5	Розробити графік роботи відділень, режим праці та відпочинку особового складу
6	Провести необхідні розрахунки, які забезпечують ефективність гірничорятувальних робіт та безпеку гірничорятувальників, в першу чергу, теплонакопичення особового складу
7	Встановити місця і періодичність відбору проб повітря, замірів витрат повітря
8	Розробити планограму робіт з проведення розвідки гірничих виробок
9	Розробити технологію відновлення гірничої виробки у стан відповідний Правилам безпеки
10	Організувати доставку та зосередження необхідних засобів та матеріалів на шахті, підземній базі, в виробках аварійної дільниці
11	Організувати безперервний зв’язок системи: Командний пункт – Підземна база - Працюючі відділення
12	Встановити, як можна ближче до осередків пожежі, автоматичні системи вибухопридушення та локалізації вибухів типу СЛВА, АСВП-ЛВ.1М та АСВП-ЛВ.МВ
13	Забезпечити стале провітрювання шахти та аварійної дільниці

Рисунок 4. Заходи щодо забезпечення ефективної і безпечної розвідки та розгазування гірничих виробок

При розробці технології (тактики) розвідки гірничих загазованих тупикових виробок після вибуху газопилової суміші (пожежі), з метою евакуації постраждалих, необхідно врахувати, що не ведуться, як правило, роботи з надання допомоги живим людям. Тому при цьому головним пріоритетом гірничорятувальних робіт повинно бути життя і безпека гірничорятувальників.

Необхідно визначити, що роботи в умовах високих температур рудничного повітря і загазованості обов'язково повинні вестись в ізолюючих респіраторах з холодильниками, індивідуальних куртках протитеплового захисту типу ТК-50, з використанням колективних засобів захисту – комплексів бокс-баз гірничорятувальних типу КБГ-2, сталого та ефективного провітрювання.

Велике значення для організації ефективної і безпечної розвідки тупикових виробок великої протяжності є робота підземної бази. Тому вперше були вдосконалені функціональні задачі підземної бази і резервного відділення (див. табл. 1).

Таблиця 1. Функціональні задачі підземної бази і резервного відділення

№ з/п	Функції (дії)
1	- забезпечення безперервного зв'язку з працюючими відділеннями і командним пунктом (керівником гірничорятувальних робіт)
2	- контроль медичного стану гірничорятувальників, зайнятих на ліквідації аварії в загазованій атмосфері та в зонах високих температур (опитування особового складу про самопочуття, вимірювання частоти пульсу, температури тіла і артеріального тиску, перевірка екіпіровки - наявність брикетів льоду, охолодженої суміші, панорамних масок, допоміжного респіратору)
3	- контроль тривалості перебування працюючого відділення в загазованому середовищі і (або) в зоні підвищеної температури
4	- контроль зміни температури і складу повітря у вентиляційному струменю, який виходить із аварійної виробки
5	- контроль витрат повітря на аварійній дільниці
6	- забезпечення резерву гірничорятувальному відділенню, яке виконує роботи в не придатному для дихання середовищи і/або в зоні підвищених температур
7	- контроль складу шахтного повітря і температури в місці розташування резервного відділення
8	- організація режиму роботи, заміни і відпочинку гірничорятувальних відділень
9	- розміщення технічного обладнання і матеріалів для ведення гіарничорятувальних робіт
10	- облік наявності і надходження технічних засобів і їх комплектації, витрати матеріалів для ведення аварійно-рятувальних робіт

Для забезпечення ефективності і безпеки гірничорятувальних робіт розроблена технологія відновлення тупикової гірничої виробки у стан відповідний Правилам безпеки у вугільних шахтах (рис. 5).

1	Прокладається підошвою гірничої виробки, з додержання вимог до теплового захисту гірничорятувальників, не більше 100 м вентиляційного ставу
⇩	
2	Виводяться підрозділи гірничорятувальників на підземну базу та включається в роботу вентилятор місцевого провітрювання
⇩	
3	Після досягнення для даної виробки нормальної температури на вихідному струменю повітря, встановлюються в загазованій атмосфері, на відстані 8 м від кінця вентиляційного трубопроводу, 1-2 легкі ізолюючі перемички
⇩	
4	Після встановлення атмосфери в провітрюваній частині виробки, яка відповідає вимогам Правил безпеки, силами робітників шахти і гірничорятувальників проводиться відновлення тупикової гірничої виробки, в т. ч. підвішується вентиляційний став, у стан відповідний Правилам безпеки
⇩	
5	В кінці вентиляційного трубопроводу встановлюється і підключається до системи подачі стисненого повітря бокс-база гірничорятувальна типу КБГ-2
⇩	
6	Цикл таких робіт повторюється кожні 20-100 м, відповідно до температури рудничного повітря, включно до вибою виробки
⇩	
7	Роботи ведуться за вимогами Статуту ДВГРС по веденню робіт в умовах загазованих виробок, високих температур рудничного повітря з неперервним контролем стану атмосфери (шкідливі гази і температура, витрати повітря)

Рисунок 5. Технологія (тактика) відновлення тупикової гірничої виробки у стан відповідний Правилам безпеки у вугільних шахтах

Роботи в умовах високих температур та загазованому середовищі необхідно проводити відповідно до вимог Статуту ДВРГС по організації і проведенню гірничорятувальних робіт [594]. Вимоги «Статуту…» [594], наукової літератури [6…8] знайшли своє використання в розроблених заходах безпеки щодо ефективного і безпечного виконання розвідки гірничих тупикових виробок вугільних шахт (див. табл. 2).

Таблиця 2. Заходи безпеки щодо виконання розвідки гірничих тупикових виробок

№ з/п	Заходи безпеки
1	- здійснювати технічні засоби зниження температури в місцях роботи: реверсування вентиляційного струменю; збільшення витрат повітря; використання підземного транспорту для перевезення відділень і доставки обладнання до місця аварії і назад; штучне охолодження повітря за допомогою аераторів або пересувних кондиціонерів, повітряно-душируючих апаратів, гідротурбінних аераторів; подача свіжого (охолоджуючого) повітря вентилятором місцевого провітрювання по вентиляційних трубах безпосередньо до робочих місць; відведення пожежних газів від місця ведення гірничорятувальних робіт по вентиляційних трубопроводах за допомогою вентиляторів місцевого провітрювання або депресії вентиляторів головного провітрювання; установка водорозбризгувачів, закріплених в перерізі виробок з вихідним струменем повітря; випуск з шахтного пневмопроводу стисненого повітря (1 кг стисненого повітря при вільному розширенні знижує температуру 5 м^3 повітря на 12 °С)
2	- захист організму рятувальників: використання легкої бавовняної одягу (замість брезентової); використання для охолодження води (змочування повітряної системи респіратора, окремих частин тіла) пакетів з охолоджувальною сумішшю або брикетів льоду; застосування спеціальних теплозахисних костюмів і респіраторів з холодильним пристроєм; використання бокс-бази для організації відпочинку респіраторників і переспорядження апаратури
3	- дотримання респіраторниками режимів праці і відпочинку
4	- підтримання безперервного зв'язку між працюючими відділеннями, бокс-базою, підземної базою і командним пунктом
5	- роботи вести при безперервному контролю температури та складу рудничного повітря, часу перебування відділень в зоні високих температур

Розглянуті та досліджені організаційні та технічні причини теплового ураження особового складу гірничорятувальних підрозділів в гірничих виробках в умовах високих температур та загазованої атмосфери. Вдосконалені: заходи щодо забезпечення підготовки до ефективної і безпечної розвідки тупикових гірничих виробок великої протяжності (більше 500 м); технологія відновлення тупикової гірничої виробки великої протяжності у стан відповідний Правилам безпеки у вугільних шахтах; функціональні задачі підземної бази і резервного відділення; заходи безпеки щодо виконання розвідки гірничих виробок в умовах високих температур та загазованої атмосфери.

З метою підвищення безпеки і ефективності гірничорятувальних робіт при ліквідації НС в гірничих виробках вугільних шахт, ускладнених підземними пожежами, пропонується вдосконалення технології (тактики) розвідки аварійних дільниць в умовах високих температур та загазованої атмосфери, що дозволить запобігти травматизму гірничорятувальників при ліквідації наслідків аварій.

SECTION 11. SCIENTIFIC BASES OF SOLVING ENGINEERING PROBLEMS AND PROBLEMS

DOI 10.46299/ISG.2021.MONO.TECH.II-633-641

11.1 Systematyczność kategorii planowanie przestrzenne

Wpływ globalnych wyzwań na procesy planowania przestrzennego jest ważny dla zapewnienia środków do życia ludności i przyszłym pokoleniom, co wymaga dalszych badań i poszukiwania mechanizmów usprawniających procesy zarządzania terytorialnego. Zagadnienia rozwoju układów przestrzennych są dziś bardzo aktualne, co wiąże się z nowymi wyzwaniami i wymaganiami stawianymi przez społeczeństwo procesom urbanizacji. Wzrost standardu życia, wysoki odsetek obszarów miejskich, stały trend przenoszenia ludności z obszarów wiejskich do dużych miast identyfikują nowe globalne wyzwania. Organizacja Narodów Zjednoczonych szacuje, że w ciągu najbliższych pięciu lat populacja miejska będzie o ponad połowę wyższa od ludności wiejskiej. Sytuacja ta wpływa na znaczenie wyzwań dla urbanizacji i systemów planowania przestrzennego.

System zarządzania terytorialnego to wielopłaszczyznowy proces, który pełni wiele funkcji. Funkcjonalne wspomaganie procesów rozwoju miast jest jednym z głównych zadań planowania przestrzennego. Jakość i racjonalność wdrażania mechanizmów planowania przestrzennego zależy od efektywności procesów rozwoju miast i zapewnienia komfortu życia [606].

Systematyczne procesy planowania przestrzennego wymagają poszukiwania elementów do zbudowania modelu koncepcyjnego, który będzie w stanie sprostać wymaganiom procesów urbanizacyjnych.

Aby zapewnić elementarną strukturę procesów planowania przestrzennego, definiujemy bloki zarządzania terytorialnego w zależności od wymagań współczesnego społeczeństwa.

Do analizy opartej na wynikach badania wyodrębniono następujące bloki planowania przestrzennego – tabela. 1

Stół 1.
Bloki planowania przestrzennego [606-610]

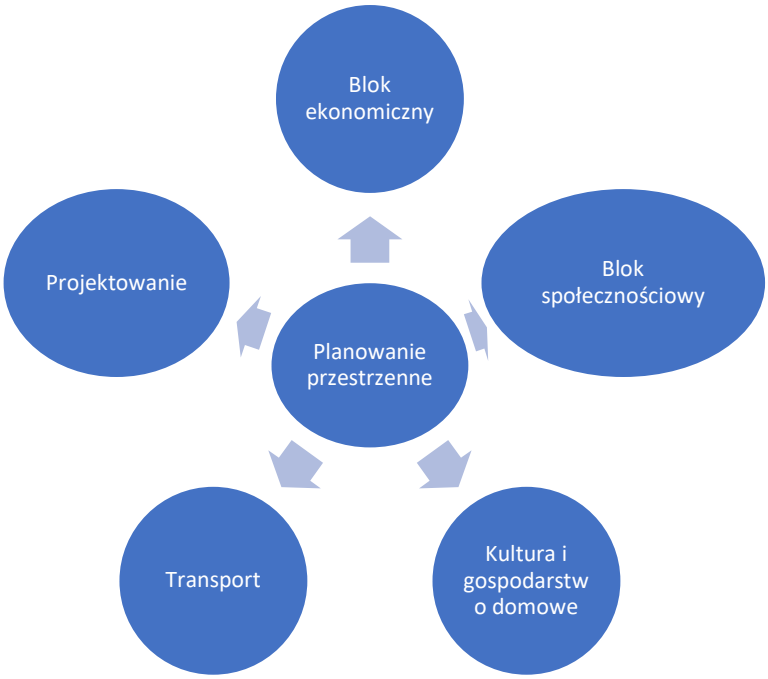
Nazwa bloku	Opis	Prośba społeczna	Elementy
1	2	3	4
Gospodarczy	blok elementów definiujący możliwości zastosowania pracy i zarządzania działalność gospodarcza	otrzymywanie zapłaty za swoją pracę, produkcję dobra i usługi	- produkcja, - Zakres usług, - wiejski gospodarstwo domowe, - zastosowanie pracy
Społeczny	blok elementów charakteryzujący społeczne aspekty życia i przyczyniający się do dalszego rozwoju efektywnych procesów urbanizacyjnych poprzez poprawę standardów życia i świadomości społecznej	służby socjalne	- uzyskanie odpowiedniego poziomu opieki zdrowotnej, - Edukacja, - pomoc społeczna, - gwarancje socjalne, - ochrona socjalna
Kultura i gospodarstwo domowe	blok elementów zapewniający realizację potrzeb kulturowych, kulturalnych, sportowych, utrzymanie gospodarstw domowych komfortowego życia ludności	organizacja czasu wolnego, zdrowy styl życia, potrzeby domowe	- instytucje kultury (teatry, muzea, kina, galerie itp.), - obiekty sportowe (centra fitness, stadiony, boiska sportowe, kompleksy sportowe), - instytucje usługi konsumenckie (pralnia chemiczna, obiekty świadczące usługi konserwacyjne i naprawcze itp.)

Kontynuacja tabeli. 1

1	2	3	4
Transport	blok dostępności komunikacyjnej elementy innych bloków planowania przestrzennego,	potrzeba mobilnego dostępu do różnych części terytorium	infrastruktura transportowa i transportowa (przystanki, dworce, obiekty techniczne obsługujące branżę transportową)
Projektowanie	umieszczenie innych elementów atrakcyjności terytorialnej	racjonalne rozmieszczenie infrastruktury w celu zapewnienia komfortowego życia	plany zagospodarowania przestrzennego

Zbiór elementów atrakcyjności przestrzennej tworzy system atrakcyjności przestrzennej. Główną cechą systemu jest relacja jego elementów i ich interakcja. Interakcję można rozpatrywać zarówno na poziomie bloków elementów atrakcyjności terytorialnej, jak i na poziomie poszczególnych elementów. Dla strukturyzacji określa się wzajemne relacje bloków systemu atrakcyjności terytorialnej.

Relacje elementów systemu planowania przestrzennego można przedstawić w postaci następującego schematu - ryc. 1



Rysunek 1. Relacje bloków planowania przestrzennego [611]

Każdy blok ma podwójną interakcję. Z jednej strony formowanie elementów jednego bloku wymaga opracowania elementów innego bloku. Np. dla rozwoju jednostki kultury i gospodarstw domowych konieczne jest stworzenie dogodnych warunków inwestycyjnych dla inwestycji w małe i średnie przedsiębiorstwa, które częściej reprezentowane są przez usługi konsumenckie, dla rozwoju małych i średnich przedsiębiorstw jednostka gospodarcza i infrastruktura rozwój, rozwój tras transportowych, jednostka transportowa itp. Z drugiej strony każdy element bloków planowania przestrzennego ma pozytywny wpływ na formowanie lub potencjalne formowanie się innych bloków, co wskazuje na systemowy charakter kategorii planowania przestrzennego.

Ponieważ proces planowania przestrzennego jest koncepcją systemową, należy przedstawić go jako system.

Układ bloku gospodarczego przedstawiono na rys.2 [612]

Informacje wejściowe	Technologie przetwarzania	Informacje o źródle
• Ocena zdolności • Ocena zasobów • Ocena bazy materiałowej i technicznej • Informacje statyczne o charakterze gospodarczym • Potrzeby i cele	• Mechanizmy zwiększania przedsiębiorczości • Ożywienie klimatu inwestycyjnego • Racjonalizacja procesów gospodarczych	• Wzrost PKB • Wzrost dochodów z działalności gospodarczej • Wzrost dochodów ludności • Wzrost strony dochodowej budżetu analizowanego poziomu terytorialnego

Figa. 2 Element systemowy ekonomicznego bloku planowania przestrzennego

System bloku społecznego przedstawia - ryc. 3 [613]

Informacje wejściowe	Technologie przetwarzania	Informacje o źródle
• Potrzebne oszacowanie • Ocena zasobów • Definicja żądań społecznych • Potrzeby i cele	• Mechanizmy zwiększania gwarancji socjalnych • Zapewnienie ochrony socjalnej ludności	• Wzrost gwarancji socjalnych • Wzrost dobrobytu społecznego ludności • Myślenie społeczne

Figa. 3 Komponent systemowy społecznego bloku planowania terytorialnego

Układ bloku kulturalno-gospodarczego przedstawiono na ryc. 4 [613]

Вхідна інформація	Технології обробки	Вихідна інформація
• Оцінка культурних потреб • Оцінка побутових потреб • Оцінку ресурсів • Визначення рівня культурного розвитку • Потреби та планові показники	• Механізми підвищення культурного життя • Механізми підвищення комфорту життя населення	• Зростання рівня життя • Культурний розвиток населення • Підвищення рівня комфортності проживання

Figa. 4 Komponent systemowy bloku kulturalno-gospodarczego planowania terytorialnego

Układ jednostki transportowej przedstawiono na ryc. 5 [613]

Informacje wejściowe	Technologie przetwarzania	Informacje o źródle
• Ocena potrzeb w zakresie dostępności • Ocena bazy materiałowej i technicznej • Charakterystyka techniczna i technologiczna • Potrzeby i cele	• Automatyzacja i technologia procesów obsługi transportu • Mechanizmy zwiększające komfort świadczenia usług transportowych	• Poprawa poziomu usług transportowych • Poprawa komfortu i bezpieczeństwa usług transportowych • Poprawa dostępności komunikacyjnej

Figa. 5 Komponent systemowy transportowego bloku planowania terytorialnego

Układ bloku konstrukcyjnego przedstawiono na ryc. 6 [613]

Informacje wejściowe	Technologie przetwarzania	Informacje o źródle
• Ocena potrzeb, baza materiałowa i techniczna • Cele	• Mechanizmy planowania terytorialnego i zarządzania terytoriami	• Racjonalne rozmieszczenie obiektów planowania przestrzennego

Figa. 6 Element systemowy bloku projektowego planowania przestrzennego

Proponowane schematy przedstawiały zatem usystematyzowanie kategorii planowania przestrzennego. Po ustaleniu systemowego charakteru kategorii

planowania terytorialnego celowe jest sformułowanie jej cech systemowych, w szczególności:

- systematyczność określa relacje elementów, czyli zależność jednego elementu od drugiego lub od zbioru elementów,
- kategoria systematyzacji ma strukturę, którą w naszym przypadku reprezentują dwa poziomy - elementy i bloki,
- struktura systemu posiada pewne cechy, według których następuje podział, w naszym przypadku podział odbywa się według cech funkcjonalnych każdego elementu, które są uformowane w podobne funkcjonalnie powiększone bloki,
- kategoria systematyczna warunkuje obecność spójnego łańcucha pracy: ocena aktualnej sytuacji, identyfikacja istniejących i ukrytych zasobów mogących obsługiwać system, alokacja zasobów poprzez planowanie przejścia z jednego do jakościowo nowego stanu, ustalanie terminów zakończenia transformacji każdego elementu systemu, monitoring i sterowanie,
- przedstawione powyżej procesy systemowe powinny doprowadzić do rezultatu - jakościowej nowej transformacji (transformacji) badanego systemu w celu podniesienia poziomu komfortu życia na obszarach miejskich.

Skupienie się na wyniku poprzez jakościowo nową transformację istniejącego systemu jest jedną z jego kluczowych cech.

Po ustaleniu systemowego charakteru kategorii terytorialnej i ukształtowaniu jej systemowych cech, możemy przedstawić następujący algorytm sekwencji działań zarządzania planowaniem terytorialnym oparty na systemowym podejściu do jego definicji - ryc. 7

Figa. 7 Algorytm transformacji systemu planowania przestrzennego

Dlatego w wyniku przeprowadzonych badań ustalono, co następuje.

Wpływ globalnych wyzwań na procesy planowania przestrzennego jest ważny dla zapewnienia środków do życia ludności i przyszłym pokoleniom, co wymaga dalszych badań i poszukiwania mechanizmów usprawniających procesy zarządzania terytorialnego.

Planowanie przestrzenne jest kategorią systemową. Kategorie systematyczne potwierdzają pewne cechy systemu: zbiór elementów strukturalnych, ich relacje, etapy informacji wejściowej i wyjściowej oraz mechanizmy ich przetwarzania, przekształcania, wydajności. Wśród elementów systemu planowania terytorialnego

zidentyfikowano kluczowe pozycje zgodnie z analizą funkcjonalnego przeznaczenia terytorium, ogólnie - wygodnego życia ludności na określonym obszarze z jego zrównoważonym rozwojem. Analiza elementów strukturalnych systemu planowania przestrzennego pod kątem ich funkcjonalnego przeznaczenia pozwoliła na połączenie elementów strukturalnych systemu planowania przestrzennego w zbiorcze bloki: gospodarcze, społeczne, kulturalno-gospodarcze, transportowe, projektowe. Te bloki mają podwójną interakcję: rozwój jednego z elementów prowadzi do rozwoju innych elementów w tym bloku i w innych blokach, a spadek wydajności jednego bloku może wpłynąć na spadek pozostałych. Dlatego podstawową formą zapewnienia zrównoważonego rozwoju jest utrzymanie na odpowiednim poziomie wszystkich elementów bloków systemu planowania przestrzennego. Relacje elementów systemu planowania przestrzennego potwierdzają systematyczność kategorii. Opracowano zestaw elementów wejściowych i wyjściowych każdego bloku systemu planowania przestrzennego, wskazując mechanizmy oddziaływań transformacyjnych. Wpływy transformacyjne powinny prowadzić do jakościowej zmiany systemu, jego przekształcenia w celu przeniesienia na jakościowo wyższy poziom. Ten proces doskonalenia jest ciągły i prowadzi do ciągłego doskonalenia rozwoju terytorialnego zgodnie z nowymi wyzwaniami społeczeństwa, które ulega zmianom.

Zagadnienia rozwoju układów przestrzennych są dziś bardzo aktualne, co wiąże się z nowymi wyzwaniami i wymaganiami stawianymi przez społeczeństwo procesom urbanizacji. Wzrost standardu życia, wysoki odsetek obszarów miejskich, stały trend przesiedlania się ludzi z obszarów wiejskich do dużych miast wyznaczają nowe globalne wyzwania. . Organizacja Narodów Zjednoczonych szacuje, że w ciągu najbliższych pięciu lat populacje miejskie przewyższą ludność wiejską o ponad połowę. Sytuacja ta wpływa na istotność wyzwań dla urbanizacji i systemów planowania przestrzennego. System ten może być wykorzystany do dalszego formułowania koncepcyjnych modeli zarządzania i planowania terytorialnego.

SECTION 12. TELECOMMUNICATIONS

DOI 10.46299/ISG.2021.MONO.TECH.II-642-657

12.1 Автоматичне калібрування високочастотного ЗІГ-генератора

Анотація

Важливою задачею при розробці та експлуатації ЗІГ-генераторів сантиметрового та міліметрового діапазону хвиль є точне встановлення частоти. Пропонується новий підхід до розв’язання цієї задачі, що полягає в тому, що генератори доповнюються вузлами автоматичного калібрування частоти.

Застосування частотного калібратора в ЗІГ-генераторі суттєво зменшує похибку встановлення частоти або смуги хитання та автоматизує в режимі реального часу процес встановлення.

Ключові слова: генератор, свіп-генератор, калібратор, автогенератор, мікроконтролер, ЗІГ-резонатор.

Вступ

Високочастотні генератори широко використовуються в телекомунікаційному і радіотехнічному обладнанні, приладах контрольно-вимірювальної техніки. Частотний діапазон генераторів дуже широкий – від одиниць мегагерц до сотень гігагерц. Важливими параметрами генераторів, які визначають якість їх роботи, є точність встановлення частоти, швидкість перебудови, рівень фазового шуму, простота конструкції та низька вартість.

Генератори застосовуються в двох основних режимах роботи: з фіксованою частотою вихідного коливання та в режимі свіп-генератора. Вони утворюють змінні за рівнем вихідні сигнали з різною модуляцією. В режимі свіп-генератора пристрої характеризується такими додатковими параметри як мінімальна і максимальна частоти хитання, частотна смуга хитання, період хитання і закон зміни частоти – лінійний або нелінійний.

У високочастотному генераторі можна виділити наступні ланки (рис.1): мікроконтролер (МК), блок керування (БК), автогенератор (АГ), підсилювач-модулятор (ПМ), атенюатор (АТ), вузли вводу даних (ВВД), відображення інформації (ВВІ) та USB-порт (USB).

Безпосередньо вузол генерації автогенератора на діоді, транзисторі чи лампі будується на основі LC-структури з перебудовою частоти варикапом або на основі мікросмужкового резонатора, на відрізку лінії передачі, поверхнево-акустичному чи об'ємному резонаторі.

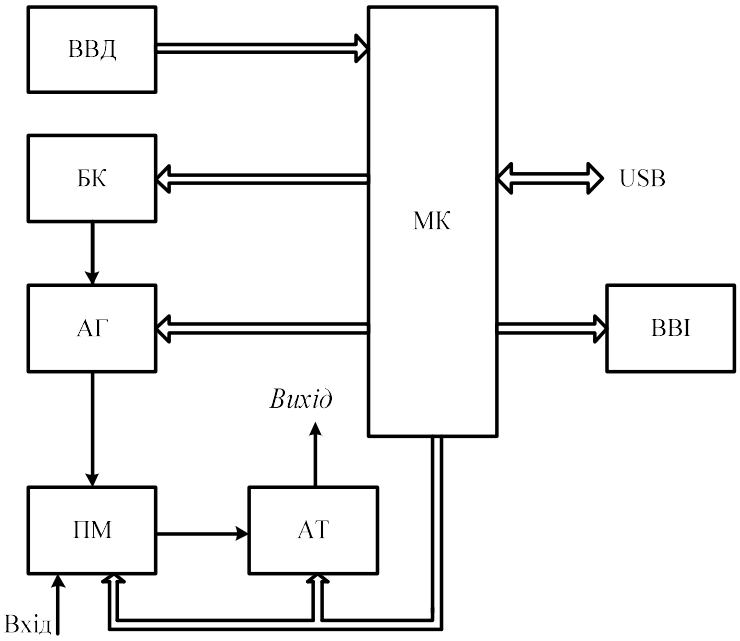


Рисунок 1 – Високочастотний генератор

LC-структура відрізняється високою швидкістю перебудови частоти, але має обмежену згори частоту генерації, підвищений рівень фазового шуму і велику похибку встановлення частоти. Резонаторна група швидка в перебудові, з низьким рівнем фазового шуму, але має невеликий коефіцієнт перекриття за частотою та недостатню точність встановлення частоти.

Для покращення характеристик автогенератор будують як прямий аналоговий чи цифровий синтезатор частоти або як непрямий синтезатор з автопідстроюванням частоти. Останній найбільш поширений, в ньому значно зменшена похибка встановлення частоти, але це реалізовано за рахунок

збільшення рівня фазового шуму автогенератора, зменшення швидкості перебудови частоти, ускладнення і збільшення вартості конструкції.

В сучасних високочастотних генераторах сантиметрового та міліметрового діапазону хвиль використовують автогенератор на ЗІГ (залізо-ітрієвий гранат)-резонаторі. ЗІГ-резонатор розміщують в низькочастотному магнітному полі. Воно створюється за допомогою електромагніту, постійного магніту або їх комбінації. Від напруженості поля, яка змінюється струмом через котушки керування, залежить частота генерації [615,616].

До переваг автогенератора на ЗІГ-резонаторі можна віднести велику кратність перебудови частоти (до декади), високу лінійність залежності частоти генерації від струму керування, низький рівень фазових шумів. Недоліком є низька температурна стабільність частоти та інерційність зміни частоти. Інерційність, у випадку коли в автогенераторі застосовується зворотній зв’язок регулювання, наприклад, фазове або частотне автопідстроювання частоти, впливає на швидкодію в цілому високочастотного генератора. Крім того, наявність в схемі автогенератора такого підстроювання частоти призводить до зростання фазових шумів вихідного коливання [617,618].

Актуальним є створення нових генераторів з маленькою похибкою встановлення частоти і низьким рівнем фазового шуму. Такі генератори поліпшать ефективність роботи електронного обладнання.

В статті розглянуто новий підхід до створення високочастотного ЗІГ-генератора. Його схему доповнено автоматичним калібратором, при цьому автогенератор не охоплено зв’язками зворотного регулювання [619]. В результаті, компенсується викликана нестабільністю параметрів ЗІГ-резонатора похибка встановлення частоти, точніше визначаються параметри хитання частоти в режимі свіп-генератора, а вихідна напруга автогенератора має мінімальний рівень фазового шуму.

Спрощена структурна схема запропонованого генератора (рис. 2) складається з автогенератора (АГ), блоку керування (БК), мікроконтролера (МК) і калібратора (К).

Блоком керування і калібратором керує мікроконтролер, вхідними сигналами якого є код встановлення частотних параметрів генератора, а також послідовності імпульсів від калібратора. Блок керування формує сигнал, якій змінює частотні параметри автогенератора.

Калібратор зібрано за оригінальною схемою [619]. Він складається з генераторів опорних частот, фільтрів, вузлів нелінійної обробки сигналів.

Високочастотний ЗІГ-генератор з автоматичним калібратором працює не тільки в режимі формування коливань з фіксованою частотою, але і в режимі свіп-генератора з хитанням частоти за будь-яким законом.

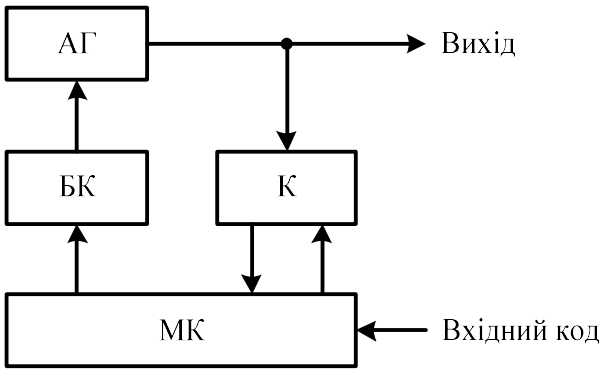


Рисунок 2 – Спрощена схема генератора з калібратором

До калібратора висуваються наступні основні вимоги:

– автоматична робота в режимі швидкого багатократного порівняння частотних параметрів автогенератора з опорними високостабільними в часі частотами;

– функціонування в широкому діапазоні частот з коефіцієнтом перекриття більше декади;

– універсальність, тобто мінімум схемних змін при переході з режиму формування коливань з фіксованою частотою до режиму свіп-генератора.

Калібратор

Розглянемо роботу калібратора у складі високочастотного генератора (рис. 3).

В пам'яті контролера МК зберігається номінальна передавальна характеристика, тобто залежність частоти автогенератора АГ на ЗІГ-резонаторі від коду керування.

У режимі свіп-генератора по першому виходу контролера МК встановлюються необхідні коди на вході блока керування БК. Ці коди відповідають заданим початковій $f_П$ та кінцевій $f_К$ частотам хитання. Блок БК формує на вході АГ відповідний струм управління, який змінює в часі вихідну частоту високочастотного генератора.

Перший опорний генератор (ОГ1) з частотою f_1 і другий опорний генератор (ОГ2) з частотою f_2 формують короткі імпульси. Гармоніки вихідної напруги опорних генераторів розподілені рівномірно в робочому діапазоні частот високочастотного генератора. Генератори мають близькі частоти f_1, f_2, причому $f_1 < f_2$, а $f_2 - f_1 << \dfrac{f_1}{2n_{МАКС}}$.

У першому періоді розгортання контролер МК по другому виходу включає генератор ОГ1. Вихідні короткі імпульси генератора через перший суматор (С1) подаються на вхід першого змішувача (З1). До другого входу змішувача надходить високочастотне коливання від генератора АГ.

Контролер МК по третьому виходу вимикає керований смуговий фільтр (КФ), по четвертому виходу – вимикає генератор ОГ2 і по п'ятому виходу залишає вимкненим дільник частоти на два (Д). Контролером МК по шостому виходу встановлюється в першому фільтрі нижніх частот (ФНЧ1) смуга пропускання $n_{МАКС}(f_2 - f_1)$, де $n_{МАКС}$ – максимальний номер гармоніки генератора ОГ1.

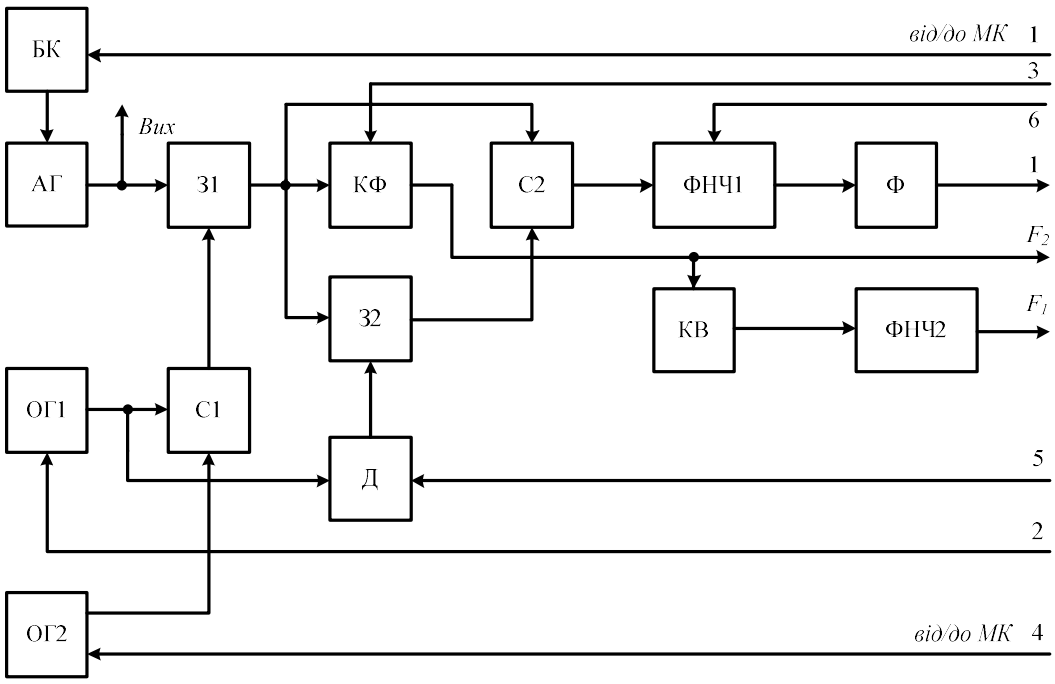


Рисунок 3 – Детальна схема генератора з калібратором

На виході змішувача З1 присутня низькочастотна складова перетворення, яка з'является в моменти кратності частоти генератора АГ $f_{АГ}$ частоті генератора ОГ1 f_1, тобто коли $f_{АГ} = nf_1$, де $n-$ номер гармоніки. Напруга перетворення проходить через другий суматор (С2), її низькочастотна складова виділяється фільтром ФНЧ1. Формувач (Ф), який складається з послідовно з'єднаних детектора і компаратора, створює на першому вході контролера МК імпульси опорних міток з частотним кроком f_1. В МК запам'ятовуються відповідні коди опорних міток.

З другим періодом розгортання частоти генератора АГ контролер МК по четвертому виходу вмикає другий опорний генератор ОГ2. До змішувача З1 через суматор С1 приєднується, крім генератора ОГ1, ще генератор ОГ2 з частотою f_2. Крім того, по третьому виходу МК вмикається фільтр КФ зі смугою пропускання $n_{МАКС}(f_2 - f_1) \ldots \dfrac{f_1}{2} - n_{МАКС}(f_2 - f_1)$.

В процесі розгортання частоти після появи першої опорної мітки на виході формувача Ф з'являється імпульс дозволу, за яким контролер МК визначає частоту $F_1 = n(f_2 - f_1)$ на виході другого фільтра нижніх частот (ФНЧ2) зі

смугою пропускання $n_{МАКС}(f_2 - f_1)$. На його вхід надходить піднесена до квадрата квадратором (КВ) напруга від фільтра КФ. За формулою $f_{01} = f_1 F_1 / (f_2 - f_1)$ розраховується частота першої опорної мітки. Контролер МК за відомою частотою першої опорної мітки f_{01} визначає частоти всіх опорних міток в смузі хитання високочастотного генератора в режимі свип-генератора.

В результаті, після другого періоду розгортання частоти генератора АГ в контролері МК запам'ятовуються, крім кодів опорних міток, їх частоти.

Контролер за кодами опорних міток і законом зміни в часі частоти генератора АГ встановлює нові скориговані коди на вході блоку БК. Це означає, що у високочастотному генераторі зменшується похибка встановлення частоти в режимі свип-генератора. Описані операції можуть повторюватися в часі багаторазово, що робить функціонування високочастотного генератора ефективнішим.

У режимі фіксованої частоти контролер МК за допомогою номінальної передавальної характеристики і заданої частоти f встановлює по першому виходу необхідний код на вході блоку БК. Блок формує на вході генератора АГ відповідний струм управління. Як і в режимі свип-генератора, гармоніки вихідної напруги генераторів ОГ1, ОГ2 з близькими частотами f_1, f_2 розподілені рівномірно в робочому діапазоні частот високочастотного генератора.

Контролер МК по другому виходу включає генератор ОГ1. Його імпульси через суматор С1 надходять до змішувача З1. Контролер МК по п’ятому виходу включає дільник Д, по шостому виходу переводить фільтр ФНЧ1 в режим зі смугою пропускання $2n_{МАКС}(f_2 - f_1)$. Залишаються вимкненими фільтр КФ і генератор ОГ2.

Контролер МК аналізує напругу на виході формувача Ф, яка може бути одиничного або нульового рівня.

Якщо частота f від генератора АГ на вході калібратора знаходиться в межах $nf_1 - 2n_{МАКС}(f_1 - f_2) \ldots nf_1 + 2n_{МАКС}(f_1 - f_2)$ або в межах

$nf_1 - \left[\frac{f_1}{2} + 2n_{МАКС}(f_1 - f_2) \right] \ldots nf_1 - \left[\frac{f_1}{2} - 2n_{МАКС}(f_1 - f_2) \right]$, де $n = 1, 2, \ldots n_{МАКС}$ – номер гармоніки, на виході формувача Ф з'являється напруга одиничного рівня. Це пояснюється тим, що продукти перетворення з різницевими частотами від змішувачів З1, З2 (останній має опорною напругу частотою $f_1 / 2$ від дільника Д) додаються другим суматором С2 і виділяються фільтром ФНЧ1.

Напруга одиничного рівня на виході формувача Ф змушує контролер МК по другому виходу зменшувати частоту f_1 генератора ОГ1. Таке регулювання закінчується з появою на виході формувача Ф нульового рівня напруги.

З цього моменту контролер МК включає фільтр КФ і вимірює частоту F_2 напруги на його виході. Контролер МК вмикає генератор ОГ2 і вимірює частоту F_1 напруги на виході фільтра ФНЧ2, а також знову частоту F_2^* напруги на виході фільтра КФ. Частота f^* генератора АГ, а відповідно, високочастотного генератора знаходиться з виразів

$$f^* = round\left(\frac{F_1}{f_2 - f_1}\right) \cdot f_1 + F_2, \text{ якщо } F_2^* > F_2;$$

$$f^* = round\left(\frac{F_1}{f_2 - f_1}\right) \cdot f_1 - F_2, \text{ якщо } F_2^* < F_2.$$

Контролер МК за передавальною характеристикою визначає код N^*, який відповідає виміряній частоті f^*. Він використовується для розрахунку скоригованого коду управління

$$N_K = 2N - N^*.$$

Код N_K встановлюється на вході блоку БК. Це означає, що у високочастотного генератора зменшується похибка встановлення фіксованої частоти. Описані операції можуть повторюватися в часі багаторазово.

Похибка встановлення фіксованої частоти зменшується тому, що частоти f_1, f_2 задаються високостабільними генераторами, наприклад кварцовими. Крім того, операція закруглення до найближчого цілого значення компенсує можливу похибку визначення частоти F_1, а частота $F_2 << f$.

Завдяки введенню у ЗІГ-генератор автоматично керованого калібратора підвищується точність встановлення частоти в режимах як свіп-генератора, так і фіксованої частоти. Це робить функціонування високочастотного генератора ефективнішим.

Калібрування в режимі свіп-генератора

Розглянемо детальніше роботу мікроконтролера з калібратором у випадку, коли пристрій знаходиться в режимі свіп-генератора. Еквівалентна схема генератора, в петлі вимірювань, розрахунків та регулювань якого знаходиться калібратор, наведена на рис. 4. Вона складається з контролера МК, автогенератора АГ і калібратора К. По входу контролера встановлюються початкові умови, а на виході формується код управління цифровим драйвером автогенератора. Калібратор обробляє вихідне коливання автогенератора і передає контролеру інформацію про розташування в часі опорних частот.

Можна виділити чотири основні етапи роботи мікроконтролера з калібратором.

1. Встановлення за допомогою номінальної передавальної характеристики $N=\Psi(f)$ і особливих частот f_1 (початкова), f_2 (кінцева) або f_0 (центральна), Δf (смуга хитання) потрібних кодів N_1, N_2 або N_0, ΔN на вході автогенератора.

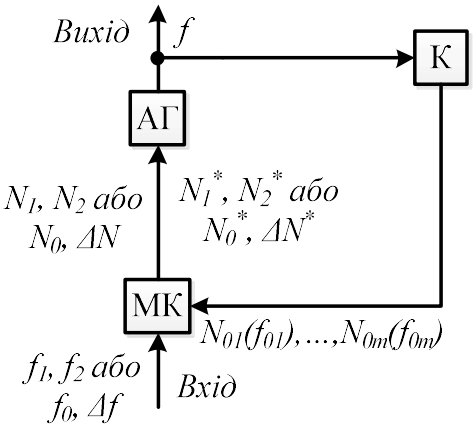


Рисунок – 4 Режим свіп-генератора

2. Частотне калібрування, суть якого в тому, що від калібратора до мікроконтролера надходить послідовність кодів $\{N_{01}, N_{02}, \ldots, N_{0i}, \ldots, N_{0m}\}$. Послідовність відповідає з високою точністю множині опорних частот $\{f_{01}, f_{02}, \ldots, f_{0i}, \ldots, f_{0m}\}$.

3. Розрахунок точнішої передавальної характеристики $N=\Psi^*(f)$. Наприклад, для випадку лінійної зміни в часі частоти автогенератора, вона знаходиться з виразу:

$$N = \frac{f - f_{CEP}}{K} + N_{CEP},$$

де $f_{CEP} = \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m} f_{0i}$, $N_{CEP} = \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m} N_{0i}$, $K = \frac{\frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m} N_{0i} f_{0i} - N_{CEP} f_{CEP}}{\frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m} N_{0i}^2 - N_{CEP}^2}$.

4. Встановлення нових скоригованих кодів N_1^*, N_2^* або N_0^*, ΔN^* на вході автогенератора. В результаті, зменшується похибка встановлення частотних параметрів автогенератора відносно заданих номінальних значень f_1 , f_2 або f_0 , Δf.

В реальному часі можливе багаторазове проведення циклів частотного калібрування. Необхідні математичні операції та команди управління одного циклу займають час, менший за період розгортання частоти свіп-генератора.

Калібрування в режимі фіксованої частоти

Особливості роботи генератора в режимі фіксованої частоти ілюструються еквівалентною схемою (рис. 5). На схемі показані блок керування БК і автогенератор АГ, а мікроконтролер і калібратор об'єднані в один вузол автоматичного калібрування (АК).

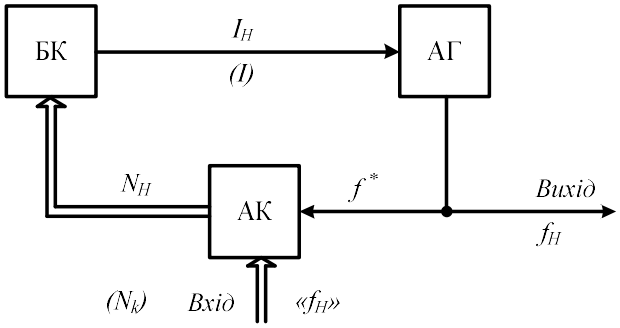


Рисунок 5 – Режим фіксованої частоти

Оператором або по порту USB у ЗІГ-генераторі встановлюється номінальне значення частоти «f_H». Вузол АК виставляє відповідний код управління блоком БК N_H, а той, у свою чергу, формує номінальний струм управління I_H генератором АГ.

Через досить велику початкову похибку встановлення частоти $\Delta f_П$ генератора АГ на вхід вузла АК надходить коливання з частотою $f^* = f_H + \Delta f_П$, яке відповідає коду N^* Вузол АК розраховує за формулою $N_K = 2N_H - N^*$ нове скориговане значення коду управління N_K. Блок БК подає на генератор АГ струм управління $I = I_H + \Delta I$, де ΔI – зміна струму від номінального, завдяки який частота вихідного коливання f^* генератора АГ наближається до номінального значення f_H з допустимою похибкою встановлення $\Delta f_Д$:

$$f^* = f_H + \Delta f_Д, \text{ де } |\Delta f_П| >> |\Delta f_Д|.$$

Описаний процес регулювання може повторюватися багато разів до виконання умови входу частоти в допустимі межі.

Алгоритм роботи вузла АК має вигляд (рис.6) і складається з чотирьох основних підпрограм (ПП).

Підпрограма "Початкове введення/виведення" не вимагає особливих пояснень. В ній використовуються команди введення номінальної частоти генерації, виведення відповідного їй коду управління блоком БК.

Підпрограма "Регулювання" виконується в тому випадку, коли з'ясовується, що похибка встановлення номінальної частоти перевищує максимально допустиму. Підпрограма включає в себе три основні команди: розрахунок коду N^*, який відповідає частоті генерації f^*; розрахунок нового скоригованого коду N_K і виведення його до блоку БК.

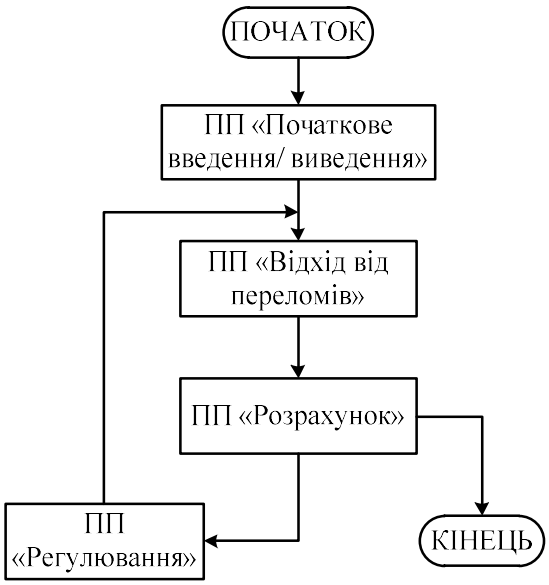


Рисунок 6 – Алгоритм

Детальніше слід зупинитися на підпрограмах "Розрахунок" і "Відхід від переломів".

Результатом виконання підпрограми "Розрахунок" є вимірювання фактичної частоти генерації f^*. Послідовність виконання команд наступна.

1. Початок.

2. Вимір частоти F_2 на виході фільтра КФ (рис. 3).

3. Включити генератор ОГ2 з частотою f_2. Як було зазначено вище, частоти f_1 і f_2 мають близькі значення $f_2 - f_1 << \frac{f_1}{2n_{МАКС}}$. Тому $f_2 = f_1(1 + \frac{1}{2mn_{МАКС}})$, де $m = 50...100$ – допоміжний безрозмірний коефіцієнт.

4. Вимір частоти F_1 на виході фільтра ФНЧ2.

5. Повторний вимір частоти F_2^* на виході фільтра КФ.

6. Якщо $F_2^* > F_2$, то розраховуємо частоту генерації $f^* = round\left(\frac{F_1}{f_2 - f_1}\right) \cdot f_1 + F_2$.

7. Якщо $F_2^* < F_2$, то розраховуємо частоту генерації $f^* = round\left(\frac{F_1}{f_2 - f_1}\right) \cdot f_1 - F_2$.

8. Якщо $f_Н - f^* > \Delta f_Д$ ($\Delta f_Д$ – максимальна допустима абсолютна похибка встановлення частоти генератора), то перехід до початку підпрограми "Регулювання".

9. Якщо $f_Н - f^* \le \Delta f_Д$, то вважати $f_Н = f^*$.

10. Кінець.

Наявність підпрограми "Відхід від переломів" пояснюється необхідністю уникнути попадання в проміжки "переломів" значення частоти генерації f^*. Попадання в проміжки "переломів" фіксується одиничним рівнем напруги на виході формувача Ф (рис. 3). Одиничний рівень з'являється в результаті взаємодії електричних коливань генератора АГ з опорними напругами в першому і другому змішувачах З1, З2. Вихід із зони "переломів" (рис. 7) стає можливим після зменшення частоти f_1 до f_1^* генератора ОГ1. Команду на зменшення частоти дає підпрограма "Відхід від переломів".

Послідовність виконання команд в підпрограмі "Відхід від переломів" наступна.

1. Початок.

2. Включити генератор ОГ1 з частотою f_1 і дільник частоти на два Д.

3. Якщо напруга на виході формувача Ф нульового рівня, то перейти до виконання команди 8.

4. Якщо напруга на виході формувача Ф одиничного рівня, то розрахувати $n = round(f_H / f_1)$.

5. Зменшити частоту генератора ОГ1 до значення f_1*. Частотний зсув по горизонтальній осі на $nf_1 - nf_1* = 2\Delta f$, де $\Delta f = 2n_{МАКС}(f_2 - f_1) = f_1 / m$ – смуга пропускання фільтра ФНЧ1, практично виведе з проміжку "переломів" частоту генерації $f*$ (рис. 7). Це означає, що

$$f_1* = f_1 - 2\Delta f / n = f_1(1 - 2 / mn).$$

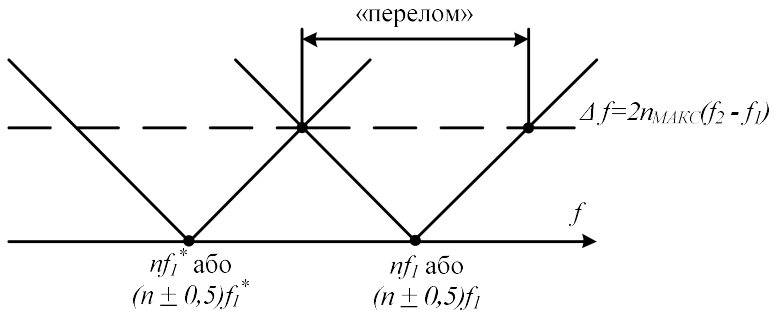


Рисунок 7 – Зменшення частоти f_1 в проміжку "переломів"

6. Якщо напруга на виході формувача Ф одиничного рівня, то вважати $n=n-1$ і перейти до виконання команди 5. Ця операція необхідна для того, щоб компенсувати можливе неправильне округлення n в команді 4 і гарантовано вийти з проміжку "переломів" частоті генерації $f*$.

7. Якщо напруга на виході формувача Ф нульового рівня, то вважати $f_1 = f_1*$.

8. Вимкнути дільник частоти на два Д.

9. Кінець.

Наведені алгоритми не деталізовані під конкретний зразок пристрою. Під час розробки генератора вони будуть доповнені необхідними командами розрахунку, вводу, виводу та керування.

Висновки

В статті розглянуто роботу ЗІГ-генератора з автоматичним калібруванням частоти. Необхідність застосування калібратора пояснюється низкою температурною частотною стабільністю ЗІГ-резонатора. Отримання з великою похибкою інформації про частотні параметри генератора приводить до зниження ефективності його роботи у складі радіотехнічного та телекомунікаційного обладнання, контрольно-вимірювальної техніки. Калібратор у взаємодії з микроконтроллером пристрою автоматично коригує частоту його автогенератора до мінімальної похибки встановлення.

Можна говорити про такі переваги запропонованого калібратора.

Робота разом з автогенератором в режимі фіксованої частоти та в режимі свіп-генератора. В режимі фіксованої частоти калибратором регулюється фактична частота генерації в напрямку наближення її до номінальної, тобто визначеної оператором. В режимі свіп-генератора встановлюються з мінімальною похибкою граничні частоти хитання або смуга і центральна частота хитання.

Калібратор працює в широкому діапазоні частот, коефіцієнт перекриття сягає значень в десятки разів. До складу калібратора входять високочастотний стробоскопічний змішувач та високостабільні генератори на кварцових резонаторах з короткими вихідними імпульсами. Частотний спектр імпульсів розташовується в усьому робочому діапазоні частот автогенератора. Широкосмуговість калібратора добре поєднується зі значною кратністю (до декади) перебудови частоти ЗІГ-резонатора.

Калібратор побудовано за оптимальною схемою. Більшість його вузлів одночасно працює в двох режимах – фіксованої частоти та свіп-генератора. В

режиме фіксованої частоти додаються тільки дільник частоти на два і суматор. У калібраторі використовуються два керованих фільтра, в яких мікроконтролером при переході між режимами генератора змінюється смуга пропускання.

Калибратор не охоплено зворотним зв'язком безперервного регулювання. Це означає, що фазовий шум автогенератора на ЗІГ-резонаторе знаходиться на мінімальному рівні, який декларує виробник. Автоматичне калібрування може бути реалізовано також в пристроях з генерацією на інших принципах (LC-структура з варикапом та інш.).

В статті розглянуто алгоритми роботи мікроконтролера з калібратором. Вони допоможуть підготувати необхідне програмне забезпечення в ході проектування генератора.

SECTION 13. TRANSPORT

DOI 10.46299/ISG.2021.MONO.TECH.II-658-671

13.1 Оценка рисков безопасности полетов с учетом опасных метеоявлений Средней Азии и Казахстана

Задача обеспечения безопасности полетов решается как на стадии проектирования и изготовления авиационной техники, так и при ее эксплуатации. На безопасность полетов влияют три группы факторов: человеческий фактор, технический фактор и неблагоприятные внешние условия. Несмотря на то, что только около 3 % авиационных происшествий обусловлены влиянием неблагоприятных внешних условий, во многих случаях имело место сочетание человеческого фактора как основного при наличии сопутствующих неблагоприятных внешних условий, в первую очередь неблагоприятных метеоусловий. Авиация находится в большой зависимости от погодных условий, так как вся ее деятельность осуществляется в атмосфере. В полете на воздушное судно (ВС) оказывают влияние температура, давление воздуха, направление и скорость ветра, количество, характер и высота облаков, осадки.

Существуют метеоусловия и опасные метеоявления, которые исключают взлет и посадку ВС (сильный сдвиг ветра на этапе захода на посадку, ветер на взлетно-посадочной полосе (ВПП), превышающий допустимые значения, грозовая деятельность на аэродроме, сильные ливневые осадки, сильная болтанка, загрязнение ВПП хуже допустимого состояния, пыльные и песчаные бури, сильное обледенение ВС и т. д.). Самое совершенное оборудование ВС и аэродрома не исключает зависимость авиации от погоды, а высокая надежность авиационной техники не всегда обеспечивает адекватно высокий уровень безопасности [620]. В мировой авиационной практике известны случаи авиационных катастроф, связанных с попаданием воздушных судов в сложные метеоусловия и опасные метеоявления.

Ключевые слова: метеоусловия, оценка рисков, безопасность полетов.

Туманы.

Распределение туманов по территории имеет сложный характер. Это объясняется разнообразием физико- географических условий и особенностями атмосферной циркуляции.

В районах с пересечённым рельефом в распределении туманов отмечается большая очаговость. Повторяемость числа дней с туманом в отдельные годы колеблется в довольно больших пределах.

Годовой ход числа дней с туманом на территории характеризуется наибольшим их количеством в холодное полугодие и наименьшим- летом , что представлено в таблице 14. Этот тип годового хода можно назвать пустынным, так отсутствие летних туманов обусловлено здесь длительным, очень сухим периодом и высокими температурами подстилающей поверхности.

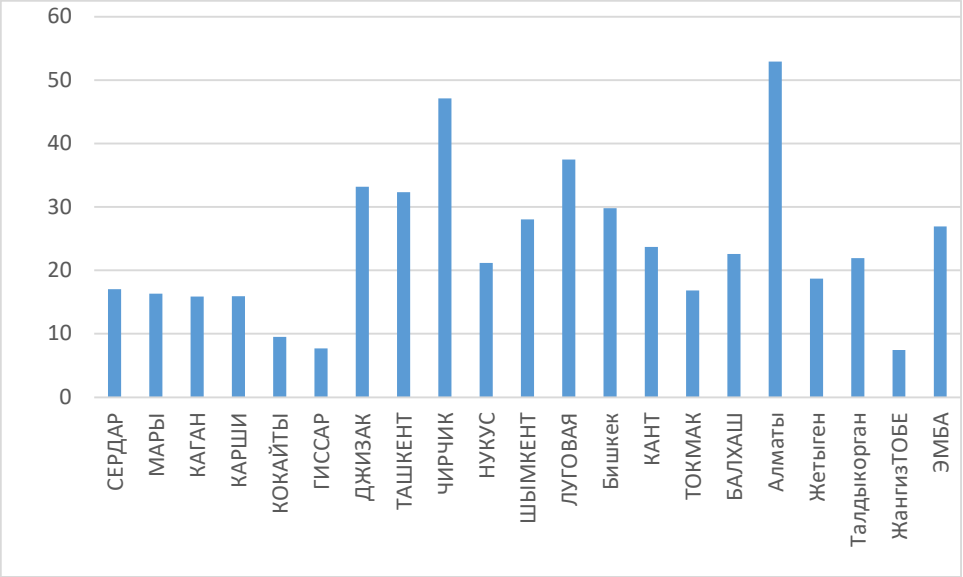


Рисунок 1- Среднее число дней с туманом

Образование туманов на рассматриваемой территории в значительной степени связано с активностью сибирского антициклона. На территории отмечаются туманы трех видов: радиационные, адвективно-радиационные, фронтальные.

Максимум повторяемости дней с туманом отмечается на большей части территории в декабре и январе. Средняя годовая продолжительность туманов по территории за год от 24 (Жангизтобе) до 290 (Алматы) . В общем средняя продолжительность тумана отмечается от 3 часов до 8 часов. Продолжительность туманов в отдельные годы изменяется в значительных пределах. В годы наибольшего или наименьшего количества туманов, суммарная продолжительность их в отдельные годы может быть примерно в 1,5-2 раза больше или меньше средней многолетней продолжительности. Средняя продолжительность туманов день с туманом за холодное полугодие составляет 3-5 часов. В некоторые годы отмечаются очень продолжительные туманы- 20-40 часов подряд.

Наибольшая продолжительность туманов приходится как за год в целом так и в месячном разрезе на первую половину суток.

Наибольшее количество туманов в году в соответствии с даннымии отмеченными в таблице 15, наблюдается на аэродроме г.Чирчик 79 дней и Алматы 63 дня, а наименьшее число дней с туманом отмечается Кокайды и Гиссар 19 дней.

Метели.

На рассматриваемой территории метели связаны с прохождением циклонов и их ложбин, с фронтальными разделами, смещающимися в основном с запада на восток.

Циклоны средних широт обуславливают метели, как в центральной, так и в южной своей части с обширной метелевой зоной, охватывающей все северные районы территории .

Метели, вызванные прохождением южных циклонов, возникают обычно после регенерации полярно-фронтовых циклонов ка арктических фронтах. На территории такие метели часто возникают при выходе Мургабских, Южно-каспийских и Западных циклонов. Южные циклоны обусловливают метели

своей центральной или тыловой частью в зависимости от чего расширяется или сокращается зона метелей.

На преобладающей части территории метели наблюдаются повсеместно и ежегодно. Частота и интенсивность метелей закономерно изменяется с севера на юг в зависимости от степени суровости и продолжительности зим, от состояния и режима залегания снежного покрова и местных ветровых условий. На режим метелей существенное влияние оказывает рельеф и микроклиматические особенности местности, часто значительно нарушающие общие закономерности их распределения по территории.

Метели представляют собой явление переноса снега ветром над земной поверхностью, причём этот перенос иногда сочетается со снегопадами. Из метелевых явлений особо выделяется поземок-перенос снега вблизи земной поверхности на небольшой высоте. Позёмки наблюдаются при антициклонической погоде, в то время как другие виды метелей (общая и низовая)- в условиях циклонической погоды. Ввиду этого позёмки в данном климатическом описании выделены в самостоятельную группу и рассматриваются отдельно от общей и низовой метелей. Последние наоборот, обеденные в одну группу и в последующем рассматриваются под общим для таких явлений термином «метель» поскольку условия их образования одинаковы.

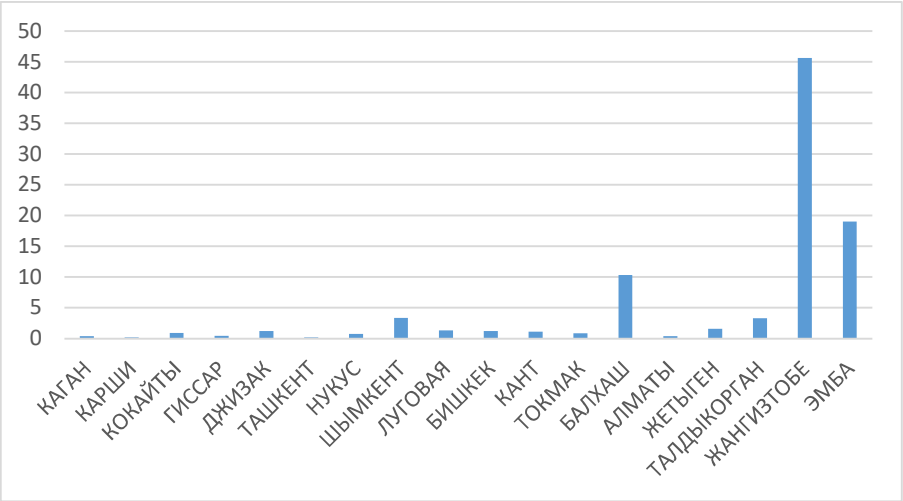


Рисунок 2- Среднее число дней с метелью

Число дней с метелями за год в различных районах территории неодинаково, но в общем убывает с севера на юг, что видно из таблицы 18. Лишь в Шымкенте наблюдается довольно большое количество дней с метелью. Продолжительная снежная и суровая зима в сочетании со значительными скоростями ветра способствует наибольшему развитию метелевой деятельности на севере территории где в среднем за зиму отмечается до 46 дней с метелью. К числу районов со слаборазвитой метелевой деятельностью относятся южные районы территории. В районах расположенных южнее 45-46°с.ш. среднее число дней с метелью колеблется от 1 до 3. Редко (до 8 случаев в 10 лет) метели отмечаются на крайнем юге, в районе между г. Тараз и г. Алматы . Наряду с этим в слабометелевой зоне южной части территории, для которой, как правило характерны слабые ветры, выделяются районы с повышенной повторяемостью метелей; Тюлькубас(12), Чокпак (18), Курдайский перевал (14), Джунгарские ворота (20), Мынжылки (Заилийский Алатау-16).

В зависимости от устойчивости, продолжительности снежного покрова и ветрового режима зимы число дней с метелью в отдельные годы может изменяться в больших пределах.

Характер распределения среднего числа дней с метелью в течение холодного полугодия. Метели по северу территории наблюдаются в период с октября по апрель. Период с метелями по югу естественно сокращается (с ноября по март). Общий характер распределения по территории продолжительности метелей в значительной степени сходен с территориальным распределением их повторяемости. Средняя суммарная за год продолжительность метелей убывает с севера на юг и составляет на севере 400-500 часов (Жангизтобе- 496), на юге 2-6 часов, однако в районе Шымкента повторяемость составляет 20 часов за год.

Наибольшее число дней с метелью наблюдается в районе Жангизтобе (100) , а наименьшее в районе Алматы (4).

Продолжительность метелей также изменчива, во времени, как и число дней с метелью. В особо метиловые годы продолжительность метелей может превышать средние её значения в 2-3 раза, достигая в районах наибольшего их

проявления 1000-1300 часов. Наоборот, в годы со слабым. проявлением явлений метелей продолжительность их снижается, относительно средней, во столько же раз. В самых южных окраинах территории, за исключением горных районов, продолжительность метелей в отдельные годы изменяется от 0 до 5-15 часов. На большей части территории средняя суточная продолжительность метели в день ее проявления равна 5-8 часов, в районах, подверженных наибольшей метелевой деятельности- 10-12 часам.

В зависимости от интенсивности и устойчивости метелеобразующего процесса предельно большая продолжительность метели по северу достигает 2,5-4 дней, а в районе Жангизтобе даже более 3 суток подряд. Столь устойчивые по продолжительности метели обычно обусловливаются прохождением серии циклонических возмущений. Метели, будучи связанными с усилением скорости ветра днём, естественно, несколько чаще наблюдаются в дневные часы, чем в ночные. Так продолжительность метелей в дневное время суток (от 6 до 18 часов) составляет в различных районах территории 60%, а в ночное время-40%.

Преобладающими направлениями ветра являются юго-западные, западные. Другие направления или почти не являются метелеобразующими или составляют небольшой процент. На территории наблюдается несовпадение направления метелеобразующих ветров в холодную половину года.

Термические условия метелей следует также отнести к одной из основных характеристик их интенсивности. На преобладающей части территории метели наблюдается при средних суточных температурах от-5 до-15°С а при более высоких и очень низких температурах значительно реже. На юге территории метели чаще отмечаются при температурах от 0 до -10°С (70-75%) .

Гололёд

Гололёдные явления в приземном слое воздуха и на поверхности земли являются результатом не только текущих, но и предшествующих атмосферных процессов. Особенно интенсивен гололёд при жидких переохлаждённых осадках (дождь, морось).

Распределение гололёда по территории обусловлено не только ее физико-географической неоднородностью, но и неустойчивостью на ее территории синоптических процессов в холодное время года, особенно в начале и конце зимы. В связи с этим среднее годовое число дней с гололёдом по территории колеблется в больших пределах. В следствие этого, распределение его по территории не носит ярко выраженного зонального характера.

Число дней с гололёдом из года в год колеблется довольно в больших пределах. По каждому климатическому району отмечаются годы как с полным отсутствием гололёда, так и со значительным их числом, превышающим годовую корму в несколько раз.

В центральных и северных районах суммарная продолжительность гололёда за год в среднем составляет от 30 до 82 часов. На востоке, юго-востоке и крайнем юге она невелика от 0,6 до 5 часов. Особенно следует отметить район г. Алматы, где за зиму средняя суммарная продолжительность гололёде равна 104 часам. Наибольшее среднее число дней с гололедом отмечается в районе аэродромов Балхаш (14 дней) и Алматы (10 дней), в районе аэродрома Нукус среднее число дней с гололедом составляет 8, а в Ташкенте 6. На остальных рассматриваемых в таблице 20 аэродромах повторяемость колеблется от 0,4 до 5 дней.

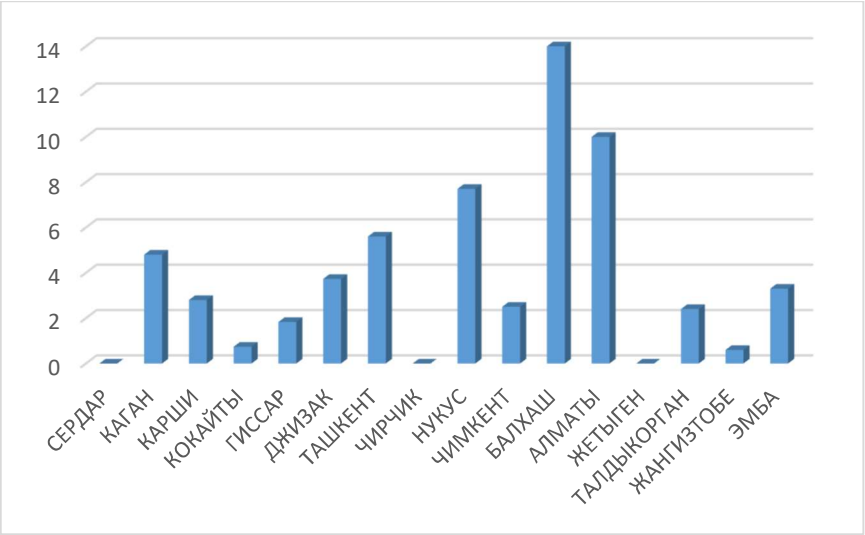


Рисунок 3- Среднее число дней с гололедом

Иногда отмечаются зимы с исключительно большой повторяемостью гололеда. Отмечено, что максимальная повторяемость отмечена в районе аэродрома Алматы .

Грозы.

На рассматриваемой территории грозы чаще всего наблюдаются в тёплое время года с максимумом в мае-июне-июле.

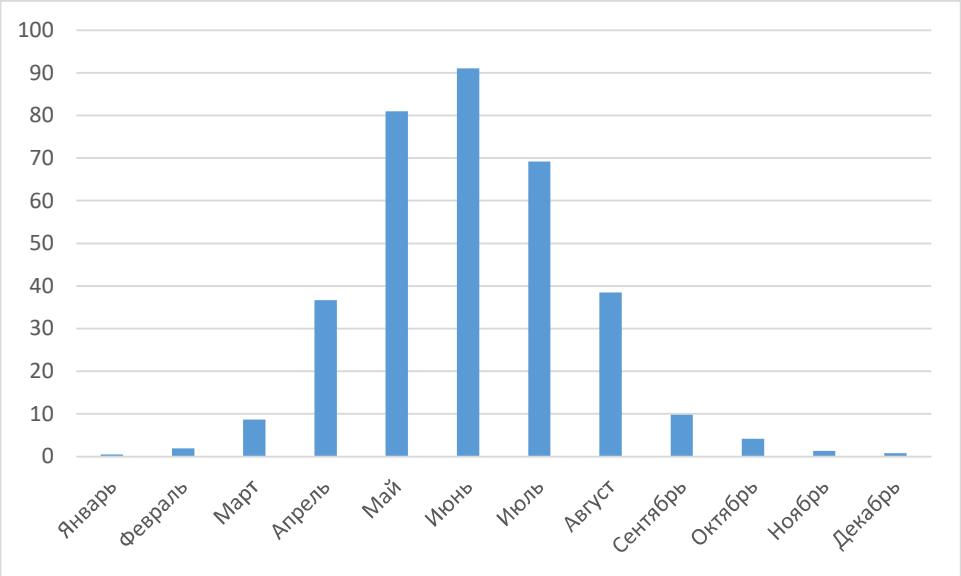


Рисунок 4- Среднее число дней с грозой на исследуемой территории

На развитие грозовой деятельности большое влияние оказывают особенности атмосферной циркуляции в условиях большой физико-географической неоднородности территории. На территории чаще бывают грозы фронтального происхождения, но нередки и внутримассовые грозы (соответственно 80 и 20%).

Характер территориального распределения годового числа дней с грозой в значительной мере согласуется с географическим распределением осадков по территории в тёплое время года. Большое влияние на усиление грозовых явлений оказывает высота местности над уровнем моря и орография, что обусловлено усилением вертикальных движений над пересеченной местностью. Это явно выражено на всем юго-востоке и востоке территории (предгорные и горные районы). В предгорных и горных районах частота гроз значительно больше, чем

на ближайших равнинах вследствие орографического обострения проходящих фронтов и конвективных процессов облакообразования.

Географическое распределение гроз по территории , среднего числа дней с грозой и наибольшего числа дней с грозой. Наибольшая повторяемость гроз в пределах равниной части характерна для северных областей.

В предгорных районах число дней с грозой колеблется в пределах 30-35. Это связано с тем, что в равнинной пустынной зоне процессы образования облаков развиты слабо. Здесь уровень конденсации лежит значительно выше, чем в северной части. Проходящие над пустынями фронты обычно размываются и не дают значительных осадков.

В годы с интенсивной грозовой деятельностью среднее число дней с грозой за год во многих районах территории увеличивается в 1,5-2,5 раза относительно нормы. На юго западе территории в такие годы число дней с грозой возрастает до 25-30, в предгорных районах до 37-40 дней, по центральной равнинной территории до 29-33 и по северу территории до 41.

В годы с незначительной грозовой деятельностью количество гроз уменьшается до 12-18 за год в районах повышенной повторяемости гроз и не превышает 3 случаев в районах минимума гроз.

Неравномерное распределение гроз в отдельные годы на территории обусловливается в основном различной повторяемостью макроциркуляционных процессов в теплом полугодии. При вторжении холодных масс с севера на территорию приводит к усилению гроз на северо-востоке, юго-востоке и востоке в результате увеличения в этих районах числа дней с фронтальными разделами, смещающимися с севера в сторону предгорий. С этими вторжениями связано увеличение вероятности гроз и над остальной частью территории, за исключением западных и юго западных районов, где количество гроз в это время резко уменьшается или они совсем прекращаются. При широтном типе

циркуляции грозы преимущественно отмечаются в северных районах и частично на крайнем юге, на остальной же части вероятность гроз незначительно.

Как уже отмечалось, грозы на территории наблюдаются преимущественно в теплое время года. Как месячные, так и годовые характеристики продолжительности гроз в общем последовательно убывают с севера на юг. Средняя продолжительность грозы на всей территории колеблется от 1,2 до 2,0 часов. Наиболее продолжительные грозы чаще всего отмечаются в послеполуденное часы (между 12 и 18 час).

Аэросиноптические условия гроз на территории :

1. Грозы возникают на основных и вторичных холодных фронтах в зависимости от свойств префронтальной воздушной массы.

2.Грозы возникают на орографических волнах, обостряющихся при приближении свежей ветви полярного или арктического фронта.

3.В период интенсивной грозовой деятельности исследуемые аэродромы располагается в передней части высотной барической ложбины, ось которой проходит между 60-70° в.д.

4.Наибольшая продолжительность грозового периода наблюдается при западных и северо-западных холодных вторжениях.

5.Для развития внутримассовых гроз необходимо наличие над территорией малоградиентного поля давления.

6.При оценке возможности грозовой деятельности следует учитывать:

а)синоптическую обстановку, адвекцию и влагосодержание воздушной массы;

б)степень развития конвекции.

Град

Град на территории наблюдается преимущественно в теплое время года и имеет в основном очаговый характер. Выпадение града обычно сопровождается ливневыми осадками фронтального или внутримассового происхождения и грозовыми явлениями. Повторяемость такого сочетания в центральных районах в среднем составляет 40-45%, в северных районах 50-60%, а в горных и предгорных районах юга 60-80% от общего числа случаев.

Синоптические условия выпадения града те же, что и для ливневых осадков: чем более ярко выражена влажная неустойчивость атмосферы, тем более вероятно образование и интенсивное выпадение града. Выпадение града сопровождается повышенными скоростями ветра.

В условиях территории град отмечается в среднем 1-4 дня. Частота выпадения града в целом по территории довольно хорошо согласуется с характером распределения его по территории кучево-дождевых форм облачности, грозовой деятельности и осадков.

Град на территории может наблюдаться с марта по октябрь. В январе и ноябре град почти не отмечается. На большей части территории град несколько чаще наблюдается в мае-июне, а на юге в апреле- мае. Ранней весной и поздней осенью град бывает очень редко. Исключением в данном, случае являются крайние юго- западные районы территории (Ташкент и Шымкент), где он наблюдается даже зимой, что бывает однако достаточно редко.

Явление града по повторяемости крайне неустойчиво из года в год. Град может не наблюдаться в течение ряда лет, и в то же время отмечаются годы и даже ряд лет, когда он проявляется довольно часто.

Следуя за суточным ходом ливней и гроз, град чаще всего отмечается во второй половине суток. По условиям образования град представляет собой преимущественно кратковременное явление. Обычно он продолжается несколько минут. Продолжительность выпадения града по районам территорий

крайне разнообразна и не носит в этом отношении зональный характер распределения. Чаще град выпадает в течение 1-5 минут (35-70%), реже 6-10 минут подряд (13-41%). Более продолжительное выпадение града отмечается крайне редко.

Пыльные бури.

В пустынных районах исследуемой территории пыльные бури наблюдаются круглый год, на остальной территории преимущественно с апреля по октябрь, они имеют резко выраженный суточный ход с максимумом от 13 до 17 часов.

В большинстве случаев пыльные бури бывают кратковременными от 15-20 минут до полутора часов, но в некоторых случаях могут быть весьма продолжительными.

Пыльные бури возникают при прохождении холодных фронтов, внутримассовых кучево-дождевых облаков, а так же на периферии антициклонов при усилении барических градиентов. Прогноз пыльных бурь сводится к прогнозу скорости ветра, сообразуясь с синоптической обстановкой и особенностями характера подстилающей поверхности.

Среднее количество дней с пыльной бурей на исследуемой территории. Наиболее часто пыльные бури наблюдаются на аэродромах Кокайды (32) и Нукус (27). Наименьшее количество пыльных бурь встречается на аэодромах Гиссар, Мары и Талдыкорган 2-3 случая в году. На остальной территории количество пыльных бурь не превышает й 10-13 случаев за год.

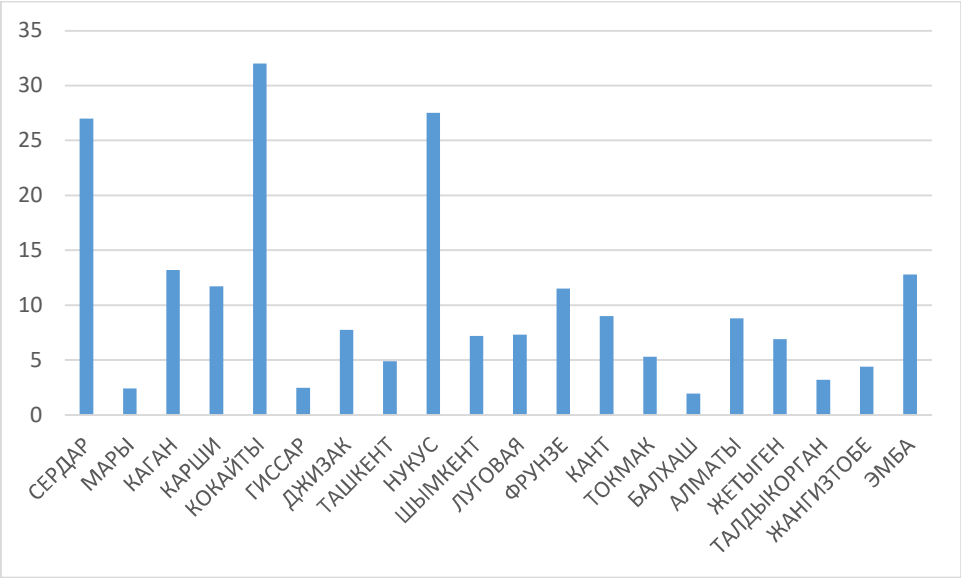


Рисунок 5- Среднее число дней с пыльной бурей

Проведённая работа позволяет сделать следующие выводы о лётно-метеорологических условиях рассматриваемой территории :

1. Климат территории континентальный и резко континентальный. Горные массивы задерживают и обостряют атмосферные процессы. В холодный период в основном синоптическими процессами являются периферия антициклона и выходы южных циклонов. В теплый период термическая депрессия и вторжения холода с запада и северо-запада.

2. Максимальная повторяемость низкой облачности наблюдается зимой, минимальная-летом. В суточном ходе максимальная повторяемость низких облаков приходится на время около восхода солнца.

3.Ограниченная видимость менее 2 км имеет наибольшую повторяемость октября по апрель. Ограниченная видимость имеет хорошо выраженный курточный ход-наибольшая повторяемость приходится на ранние утренние часы.Физико-географическое расположение территории основном благоприятствует полетам гражданской и военной авиации в течение всего года.

4. Наиболее сложные условия погоды (менее 300х4) характерны для холодного периода года с максимумами повторяемости в декабре.

5. Наибольшее влияние на безопасность полетов оказывают: в холодный период-туманы, по северу-метели, гололед; в тёплый период- грозы, пыльные бури.

6. Наиболее благоприятные для работы авиации месяцы-с апреля по сентябрь, менее благоприятные с ноября по март. Однако, по всей территории условия менее 200 х 2 имеют относительно малую повторяемость и устойчивость даже в зимний период.

7. Приведённые в настоящей работе графики, таблицы и полученные выводы могут быть использованы в планировании полетов малой и учебной авиации , а также при полетах гражданской авиации и в практической деятельности метеоспециалистов по обеспечению полётов и перелётов авиации на исследуемой территории .

DOI 10.46299/ISG.2021.MONO.TECH.II-672-680

13.2 Автоматизация предполетного информационного обеспечения

Введение

На каждом аэродроме, который используется для международных полетов, персоналу, связанному с выполнением полетов, включая летный экипаж и службы, ответственные за предполетную информацию, предоставляется аэронавигационная информация, необходимая для обеспечения безопасности, регулярности и эффективности полетов, которая касается всех этапов маршрута, начиная с данного аэродрома. Предполетная информация включает в себя много вопросов таких, как информация о маршруте полета, об аэродроме назначения и запасном аэродроме (ЗА), о правилах загрузки воздушного судна (ВС), анализ минимумов для посадки на аэродром назначения и запасной, анализ метеорологической обстановки по маршруту полета, правила расчета топлива для различных видов и условий полета и др. [622].

В соответствии с установленными правилами каждому полету должна предшествовать тщательная подготовка. Перед каждым полетом, экипажи ВС (ЭВС) на предварительной подготовке должны быть обеспечены всей необходимой предполетной информацией, в результате изучения которой ЭВС выбирает ЗА и принимает решение о возможности выполнения полета [622].

На сегодняшний день информация, которая влияет на выбор ЗА – величина детерминированная [623,624]. Основными обязанностями сотрудника по обеспечению полетов/летного диспетчера (FOO/FD) есть осуществление квалифицированной помощи командиру воздушного судна (КВС) по подготовке рабочего плана полета и обеспечения КВС в полете информацией при помощи соответствующих средств.

В целях оптимизации предполетной подготовки в авиации разрабатываются и применяются автоматизированные системы аэронавигационной информации (АС ППИ) [625].

Анализ исследований и публикаций

Предполетная подготовка ЭВС является одним из условий обеспечения безопасности полетов. Перед каждым полетом, ЭВС на предполетной подготовке необходимо выбрать ЗА, а затем, принимая решение на вылет, уточнить метеоусловия на них. Выбор ЗА и принятие решения на вылет регламентируют следующие документы: Руководство по летной эксплуатации ВС, Наставление по производству полетов гражданской авиации, и принятый в 2005 году Государственной авиационной службой Украины «Порядок принятия решения на вылет и прилет воздушных судов гражданской авиации Украины по правилам полета по приборам».

В настоящее время в целях повышения безопасности полетов в состав автоматизированных систем управления воздушным движением (АС УВД) включаются интеллектуальные модули – СППР, в которых реализована информационная поддержка авиационного оператора (АО). Они содействуют оперативному принятию решения экипажем ВС. АС УВД с элементами информационной поддержки, используемые в авиации, представлены в работах [626-629].

Элементы СППР включены в состав АС УВД – «Alenia» (аэропорт Борисполь), «Ксения», «Настасия», «Юлия» (Львов, Симферополь, Харьков, Одесса), «Альфа» (Россия), «Tompson» (Узбекистан) и другие, где выполняют функции информационной поддержки принятия решения авиационным оператором. Однако в службах предполетного информационного обслуживания СППР не использовались.

В целях предполетного обслуживания и обеспечения полета эксплуатанты используют ряд программных продуктов. Наиболее известными поставщиками указанных программ являются фирмы Jeppesen, SITA, Sabre, Skyplan, Lido и ряд других. Некоторые авиакомпании используют программное обеспечение собственной разработки [622]. Использование таких программ позволяет осуществлять аэронавигационное и метеорологическое обеспечение полётов.

Однако автоматически сгенерированный компьютером оперативный план полёта не всегда является рациональным для выполнения данного рейса. Компьютер обычно подбирает наиболее короткий подходящий маршрут, не учитывая множества других эксплуатационных факторов, влияющих на выполнение полёта. Подбор компьютером не самой подходящей с экономической точки зрения высоты полёта может привести к значительному перерасходу топлива, особенно на длинных рейсах [622].

Алгоритм выбора запасного аэродрома в программе планирования полета производится путем отбора из встроенной базы данных аэропортов при вводе пользователем дополнительных параметров выбора (например, удаления от аэропорта назначения, данные по топливу). Данный недостаток таких систем затрудняет процесс выбора запасного аэродрома на этапе планирования полета, так как авиационному оператору затруднительно самостоятельно сделать объективный выбор наиболее подходящих запасных аэродромов по маршруту полета, тем более, в таких программах не производится анализ метеоусловий на запасных аэродромах. Также в таких программах не реализована информационная поддержка принятия решения о выполнении полета по маршруту.

Постановка задачи

1. Разработка модуля автоматизированного выбора запасного аэродрома.

2. Построение нейросетевой модели анализа возможности выполнения полета.

Разработка модуля автоматизированного выбора запасного аэродрома

Центральное место в системе предполетной подготовки занимает проблема выбора оптимального ЗА по маршруту полета и задача принятия решения относительно возможности выполнения полета. Для решения этой задачи в таких системах предлагается применение модуля автоматизированного выбора запасного аэродрома [630].

Чтобы оптимизировать решение задачи выбора ЗА и добиться более точных и объективных результатов, предлагается поэтапный подход к методике выбора ЗА. Рассмотрим работу модуля.

Первый этап. Ввод полетного задания.

Он заключается во вводе пользователем полетного задания в расчетную систему, т.е. ввод аэродрома (АД) вылета и назначения [631].

Данные о выбранных аэродромах и сведения по выбранному маршруту поступают в модуль выбора ЗА из базы данных.

Второй этап. Определение потенциально возможных запасных аэродромов.

В блоке определения возможных ЗА на основе введенного полетного задания происходит определение маршрута и определение возможных запасных аэродромов. Сначала определяется расстояние от аэродрома вылета до аэродрома назначения $L_{маршрута}$ и в радиусе R равном половине маршрута с центром в аэродроме назначения определятся возможные запасные аэродромы. Далее происходит сортировка возможных запасных аэродромов в порядке возрастания расстояния от аэродрома назначения до них.

Третий этап. Первое оценивание аэродромов по факторам и отсев заранее непригодных аэродромов.

Выбранные возможные аэродромы оцениваются по 3-м значимым факторам:

1. A – Тактико-технические характеристики аэродрома (характеристики взлетно-посадочной полосы, светотехнического оборудования, системы захода на посадку, навигационной система подхода).
2. B – Метеоусловия.
3. C – Количество топлива.

Оценивание аэродромов по всем факторам будем осуществлять с помощью двухслойной прямонаправленной *нейронной сети* – двухслойного персептрона [632]. Входными параметрами модели являются факторы, которые влияют на выбор запасного аэродрома при принятии решения на вылет:

- компонент $\overline{A}$ - оценка тактико – технических характеристик ЗА, (a_1 – ТТХ ВПП, a_2 – система захода на посадку, a_3 – навигационная система подхода, a_4 – светотехническое оборудование) $\overline{\mathrm{A}} = \{a_i\},\ i = \overline{1,4}$;

- компонент $\overline{B}$ - оценка метеоусловий на предполагаемом ЗА (b_1 – соответствие НГО и видимости установленным минимумам, b_2 – соответствие составляющих ветра установленным предельно допустимым), $\overline{\mathrm{B}} = \{b_j\},\ j = \overline{1,2}$.

- компонент $\overline{C}$ - оценка наличия топлива на борту ВС, т.е. хватит ли топлива до предполагаемого ЗА, $\overline{\mathrm{C}} = \{c_k\},\ k = \overline{1,1}$;

Каждому входному параметру ставится также бинарный вектор, который отображает соответствие (1) или несоответствие (0) определенного параметра удовлетворительным условиям.

Выходным параметром модели является оценка аэродромов относительно возможности быть выбранными в качестве запасных $\overline{\mathrm{R}}$: r1 – АД может быть запасным (1), или АД не может быть запасным (0), $\overline{\mathrm{R}} = \{r_x\},\ x = \overline{1,1}$.

Таким образом, определяются аэродромы, которые могут быть выбраны в качестве запасных.

Четвертый этап. Второе оценивание аэродромов по факторам.

На четвертом этапе аэродромы, которые могут быть выбраны в качестве запасных, оцениваются с точки зрения экономичности. Здесь играют роль такие факторы как аэронавигационные сборы по маршруту и на аэродроме, количество топлива, маршрут и другие факторы.

Выбранные пригодные аэродромы оцениваются по данным факторам и выбирается оптимальный запасной аэродром.

Данные о выбранном запасном аэродроме поступают на интерфейс пользователя.

Построение нейросетевой модели анализа возможности выполнения полета

Анализ возможности выполнения полета в автоматизированной системе подготовки предполетной информации осуществляется с помощью трехслойной прямонаправленной *нейронной сети* [632] (Рис. 1).

Входными параметрами первого слоя модели являются исходы, анализирующие состояние подфакторов (Табл. 1). В соответствии с каждым входным параметром ставится бинарный вектор, который отображает результат состояния исходов: соответствие (1) или несоответствие (0) требуемым условиям определенного подфактора. Выходы первого слоя являются входными параметрами второго слоя и отображают состояние факторов (Табл.2).

Бинарный вектор отображает оценку состояния фактора: удовлетворяют ли они требуемым условиям для выполнения полета: 1 – факторы соответствуют, 0 – факторы не соответствуют.

Таблица 1

Таблица критериев (оценка состояния подфакторов)

Факторы	**Критерий оценки**	**Исход**	**Результат исхода**	**Комментарии**
A	$A=(a_{adm1}-a_1)\geq 0$	A_1	A1=1	Взлетная масса не превышает предельно допустимую
	$A=(a_{adm1}-a_1)<0$		A2=0	Взлетная масса превышает предельно допустимую
	$A=(a_{adm2}-a_2)\geq 0$	A_2	A3=1	Посадочная масса не превышает допустимую
	$A=(a_{adm2}-a_2)<0$		A4=0	Посадочная масса превышает допустимую
	$A=(a_{adm1}-a_1)\geq 0$	A_3	A5=1	Центровка ВС в пределах нормы
	$A=(a_{adm1}-a_1)<0$		A6=0	Центровка выходит за нормы
B	$b_2=(b_1\leq b_{21})\wedge(b_1\leq b_{22})\wedge$ $\wedge(b_1\leq b_{23})$	B_1	B1=1	[illegible] минимумам
	иначе		B2=0	($H_{НГО}\times RVR$) не соответствует установленным минимумам
	$b_4=(b_{41}-b_3)\geq 0$ при табличном значении b_{42}	B_2	B3=1	боковая составляющая ветра ($U_б$) соответствует предельно допустимой

Продолжение Таблицы 1

Продолжение Таблицы 1

Факторы	Критерий оценки	Исход	Результат исхода	Комментарии
	$b_4=(b_{41}-b_3)<0$ при табличном значении b_{42}		B4=0	$U_б$ не соответствует предельно допустимой
C	$(c_1 = 0) \wedge (c_2 = 0) \wedge ... \wedge (c_9 =$	C_1	C1=1	все ОМЯ отсутствуют
	иначе		C2=0	присутствует хотя бы одно ОМЯ
D	$d_2 = (d_1 \le d_{21}) \wedge (d_1 \le d_{22}) \wedge \wedge (d_1 \le d_{23})$	D_1	D1=1	($H_{НГО}$×RVR) соответствует установленным минимумам
	иначе		D2=0	($H_{НГО}$×RVR) не соответствует установленным минимумам
	$d_4=(d_{41}-d_3)\ge 0$ при табличном значении d_{42}	D_2	D3=1	$U_б$ соответствует предельно допустимой
	$d_4=(d_{41}-d_3)<0$ при табличном значении d_{42}		D4=0	$U_б$ не соответствует предельно допустимой
E	$e_2 = (e_1 \le d_{21}) \wedge (e_1 \le d_{22}) \wedge \wedge (e_1 \le d_{23})$	E_1	E1=1	($H_{НГО}$×RVR) соответствует установленным минимумам
	иначе		E2=0	($H_{НГО}$×RVR) не соответствует установленным минимумам
	$e_4=(d_{41}-e_3)\ge 0$ при табличном значении d_{42}	E_2	E3=1	$U_б$ соответствует предельно допустимой
	$e_4=(d_{41}-e_3)<0$ при табличном значении d_{42}		E4=0	$U_б$ не соответствует предельно допустимой
F	$f_1=1$	F_1	F1=1	FPL принят IFPS
	$f_1=0$		F2=0	FPL не принят IFPS
H	$(h_1 = 1) \wedge (h_2 = 1) \wedge (h_3 = 1)$	H_1	H1=1	Состояние АД вылета, назначения и ВО соответствуют условиям вылета, посадки и полета по маршруту
	иначе		H2=0	Состояние не соответствует
I	$i_1=1$	I_1	I1=1	ВС к полету готово
	$i_1=0$		I2=0	ВС к полету не готово
K	$k_1=1$	K_1	K1=1	ЭВС к полету готов
	$k_1=0$		K2=0	ЭВС к полету не готов
L	$l_1=1$	L_1	L1=1	ЗА выбран
	$l_1=0$		L2=0	ЗА не выбран
M	$M_{проф}=1$	M_1	M1=1	ЭВС к полету готов
	$M_{проф}=0$		M2=0	ЭВС к полету не готов
	$M_{непроф}=1$	M_2	M3=1	ЭВС к полету готов
	$M_{непроф}=0$		M4=0	ЭВС к полету не готов

Выходным параметром модели является оценка относительно возможности выполнения полета $\overline{G}$: g1 – полет возможен (1), g2 –полет не возможен (0), $\overline{G} = \{g_x\}, x = \overline{1,0}$.

Таблица 2

Таблица критериев (оценка состояния факторов)

Факторы	Критерий оценки	Результат исхода	Комментарии
A	$A_1 \in A1 \wedge A_2 \in A3 \wedge A_3 \in A5$	A=1	Масса ВС удовлетворяет условиям для взлета и посадки
	иначе	A=0	Масса ВС не удовлетворяет условиям для взлета и посадки
B	$B_1 \in B1 \wedge B_2 \in B3$	B=1	МУ на АДв удовлетворят возможности вылета
	иначе	B=0	МУ на АДв не удовлетворят возможности вылета
C	$C_1 \in C1$	C=1	все ОМЯ отсутствуют
	иначе	C=0	присутствует хотя бы одно ОМЯ
D	$D_1 \in D3 \wedge D_2 \in D3$	D=1	Фактические МУ на АДн удовлетворят возможности вылета
	иначе	D=0	Фактические МУ на АДн не удовлетворят возможности вылета
E	$E_1 \in E3 \wedge E_2 \in E3$	E=1	Прогнозируемые МУ на АДн удовлетворят возможности вылета
	иначе	E=0	Прогнозируемые МУ на АДн не удовлетворят возможности вылета
F	$F_1 \in F1$	F=1	FPL принят IFPS
	иначе	F=0	FPL не принят IFPS
H	$H_1 \in H1$	H=1	Состояние АД вылета, назначения и ВО соответствуют условиям вылета, посадки и полета по маршруту
	иначе	H=0	Состояние не соответствует
I	$I_1 \in I1$	I=1	ВС к полету готово
	иначе	I=0	ВС к полету не готово
K	$K_1 \in K1$	K=1	ЭВС к полету готов
	иначе	K=0	ЭВС к полету не готов
L	$L_1 \in L1$	L=1	ЗА выбран
	иначе	L=0	ЗА не выбран
M	$M_1 \in M1 \wedge M_2 \in M3$	M=1	Профессиональные и непрофессиональные факторы ЭВС в допустимых пределах
	иначе	M=0	Профессиональные и непрофессиональные факторы выходят за пределы нормы

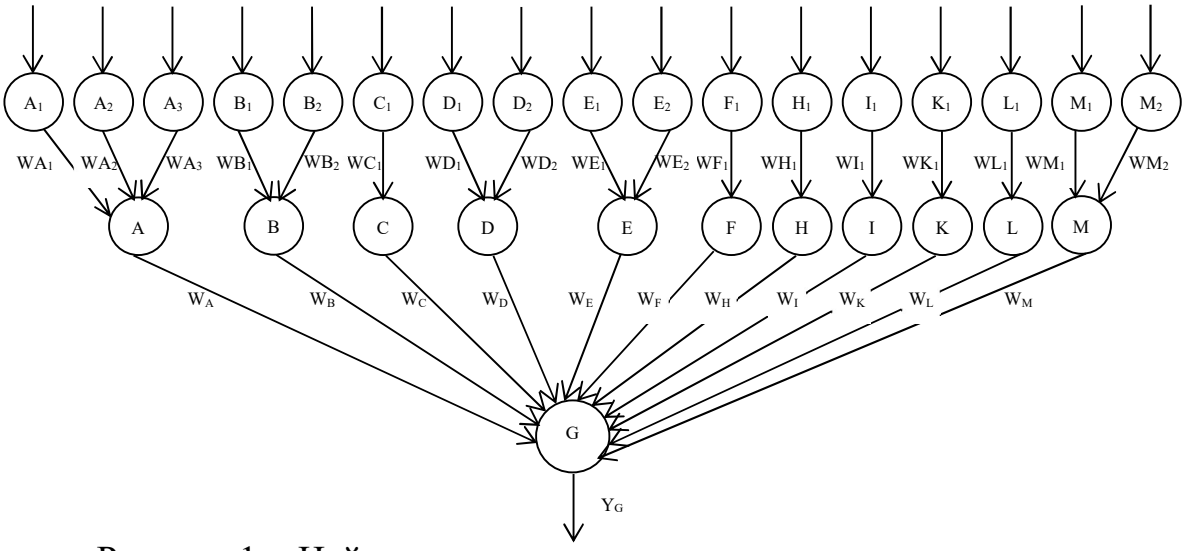


Рисунок 1. - Нейросетевая модель анализа возможности выполнения полета

Разработанная нейросетевая модель позволит оперативно получать командиру ВС рекомендацию о возможности выполнения полета благодаря комплексному учету влияния отдельных факторов. Это сократит время на принятие решения, а также минимизирует возможность принятия неправильного решения.

Выводы

Рассмотренная проблема выбора запасного аэродрома является актуальной не только в контексте предполетной подготовки. Нередко проблема выбора альтернативного аэродрома или другого места для вынужденной посадки возникает уже в полете. Такие ситуации, требующие вынужденной посадки, всегда связаны с дефицитом времени и высокой нервно-эмоциональной нагрузкой при принятии решения. Таким образом, просматриваются пути внедрения подобных модулей автоматизированного выбора ЗА в бортовых автоматизированных системах управления полетом для определения оптимального запасного аэродрома или пригодного места посадки в любой момент времени и в любой точке маршрута. Таким нововведениям способствуют и существующие и широко применяющиеся в авиации системы глобального позиционирования (GPS); набирающие обороты и все больше применяемые для целей авиации геоинформационные системы (ГИС); а также возможность получать необходимую информацию из баз данных аэропортов или непосредственно из самих аэропортов в режиме on-line.

DOI 10.46299/ISG.2021.MONO.TECH.II-681-703

13.3 Использование искуственного интеллекта для прогнозирования и предупреждения несчастных случаев в результате возгорания объектов на транспорте

У даній роботі вироблено аналіз останніх досягнень в цій галузі. Показано переваги та недоліки теплового контролю на прикладі електродвигуна транспортного засобу. Розроблено математичний апарат і показані методи дослідження. Запропоновано використовувати штучний інтелект для вирішення завдань розпізнавання і прогнозування. Висновки, зроблені в роботі, припускають подальше використання даного методу і розвитку тренду теплової діагностики.

Ключові слова: штучний інтелект, теплової контроль, електротранспорт, електродвигуни, акумуляторна батарея, інфрачервоне випромінювання, пожежі

Ми живемо в динамічно мінливому світі. Сучасний темп життя вимагає активної життєдіяльності, що підтягує за собою щільне використання транспорту для пересування жителів міста і районів для вирішення свої життєвих проблем.

З таким темпом пересування і насиченості транспорту постійно виникають складнощі із забезпеченням безпечного, комфортного і недорогого пересування.

Дорожньо-транспортні пригоди, як на дорогах, так і під час обслуговування техніки, в більшій своїй суті пов'язані з виникненням непередбачених загорянь, які можуть бути результатом аварії або неправильної експлуатації транспортного засобу чи устаткування з його обслуговування. Це веде до нещасних випадків на виробництві та на дорогах, які все частіше як наслідок мають втрати життя або нанесення великих каліцтв людині в результаті травм [633].

Для того, щоб уникнути випадків загоряння транспортної техніки або їх супутніх об'єктів необхідно проводити профілактично - попереджувальні заходи.

Для вирішення цього завдання необхідно розробити ряд заходів, що підвищують безпеку на дорогах і на підприємствах. До них й відноситися створення програми із використанням штучного інтелекту, заснованого на роботі нейронних мереж, за допомогою якої стане можливе прогнозування події, яка ще не відбулася, і за результатом прогнозу програмою приймалося рішення по допущенню або швидкому усуненню обставин настання даної небажаної події [634].

В останні роки приділяється все більша увага для вирішення даного питання. Опубліковано велика кількість різних праць, які присвячені як створенню прогнозуючого штучного інтелекту з можливостями розпізнавання об'єктів, так і заходам запобігання і гасіння пожеж з мінімальними жертвами і шкодою для здоров'я людей.

Але найголовніше в цьому питанні, як показує досвід - не допустити із самого початку виникнення обставин для настання нещасного випадку. Для цього найкраще підходить штучний інтелект з нейронної логікою роботи. Його використання передбачається у симбіозі із застосуванням теплових камер відеоспостереження, які працюють і в інфрачервоному режимі (так званих тепловізорів), які дозволять бачити тепловий об'єкт спостереження крізь стінки і перепони і на значні відстані, виявляючи підозріло зростаюче нагрівання об'єкту, що призводить до виникнення пожежі.

Про найбільшою статистику пожеж можна навести факти з новітньої історії [635]:

- 2007 рік - в Греції від пожеж загинули 83 людини;
- за статистикою МНС у 2008 році в Росії в результаті 200 тисяч пожеж загинули 15 тисяч людей;
- 2009 рік - в США при пожежах загинуло 4 тисяч осіб;
- 2019 рік - в Австралії через природні пожежі загинули 173 людини і були зруйновані цілі міста.

Цей список можна продовжувати [636].

Номер (ранг) пожежі - умовна ознака складності пожежі, що визначає в розкладі виїзду необхідний склад сил і засобів гарнізону, залучених до гасіння пожежі. Залежно від складності пожежі визначається кількість задіяної техніки та особового складу. Так, наприклад, у великих гарнізонах пожежної охорони виділяють 5 рангів пожежі.

• Виклик № 1. Надійшло повідомлення про задимлення або пожежі. На місце виклику виїхало 2 відділення на двох основних пожежних автомобілях (автоцистернах). Виявлена пожежа. Приступили до гасіння.

• Виклик № 1-БІС. Підтверджено повідомлення про пожежу. При нестачі сил і засобів додатково запитуються на допомогу ще до 2х відділень з сусідніх районів. Всього на місці пожежі працюють 4 відділення.

• Виклик № 2. Підтверджено повідомлення про пожежу. При великій площі горіння, нестачі сил і засобів, відсутності водних джерел та інших проблемах, запитуються додатково ще 4 відділення з сусідніх районів. Всього на місці пожежі працюють 8 відділень.

• Виклик № 3. Підтверджено повідомлення про пожежу, складна обстановка, запитані додаткові сили. Всього на місці пожежі працюють 12 відділень на основних пожежних автомобілях (автоцистернах).

• Виклик № 4. Підтверджено повідомлення про пожежу, складна обстановка, запитані додаткові сили. На місці пожежі працюють 16 відділень.

• Виклик № 5. Підтверджено повідомлення про пожежу, складна обстановка, запитані додаткові сили. На місці пожежі працюють 20 відділень.

У гарнізонах пожежної охорони з меншою кількістю сил і засобів може бути від трьох до п'яти номерів виклику [637].

Класифікація пожежі за типом

- Індустріальні (пожежі на заводах, фабриках і сховищах).
- Побутові пожежі (пожежі в житлових будинках і на об'єктах культурно-побутового призначення).
- Природні пожежі (лісові, степові, торф'яні та ландшафтні пожежі).

Класифікація пожежі за щільністю забудови

- Окремі пожежі. (Міські пожежі) - горіння в окремо взятому будинку при невисокій щільності забудови. (Щільність забудови - процентне співвідношення забудованих площ до загальної площі населеного пункту. Безпечної вважається щільність забудови до 20%).
- Суцільні пожежі - вид міського пожежі, що охоплює значну територію при щільності забудови більше 20-30%.
- Вогненний шторм - рідкісне, але грізне наслідок пожежі при щільності забудови більше 30%.
- Тління в завалах.

Класифікація в залежності від виду горючої речовини та матеріалу

Класифікація за видом матеріалів, залучених в пожежа, важлива для правильного вибору засобів гасіння, в першу чергу, ручних вогнегасників [638].

Класифікація Міжнародної організації зі стандартизації

Міжнародна організація зі стандартизації (ISO) в 1977 году прийняла стандарт ISO 3941:1977 Пожежі. Класифікація. З цим стандартом було розроблено ГОСТ 27331-87. В 2007 році міжнародний стандарт було переглянуто в існуючу редакцію 3941:2007 та добавлено класс F — пожежі з залученням горючих матеріалів, таких як рослинні та тваринні олії и жири в устаткуванні для приготування їжі [639].

В Сполучених Штатах Америки

У США в якості офіційної визнана класифікація, встановлена документом Національної асоціації протипожежного захисту NFPA 10 «Стандарти для портативних вогнегасників»:

• клас А - пожежі з залученням звичайних горючих матеріалів, таких, як деревина, одяг, папір, гума та більшість пластмас.

• клас В - пожежі із залученням легкозаймистих рідин, горючих рідин, нафтових мастил, смол, масел, масляних фарб, розчинників, лаків, спиртів і горючих газів.

• клас С - пожежі із залученням чинного електричного обладнання.

• клас D - пожежі із залученням горючих металів, таких, як магній, титан, цирконій, натрій, літій і калій.

• клас K - пожежі обладнання для приготування їжі з залученням горючих матеріалів, таких, як рослинні і тваринні масла і жири.

Класифікація матеріалів по їх займистості

• Негорючі матеріали - матеріали, які не горять під впливом джерела запалювання (природні і штучні неорганічні матеріали - камінь, бетон, залізобетон).

• Важко горючі матеріали - матеріали, які горять під впливом джерел запалювання, але не здатні до самостійного горіння (асфальтобетон, гіпсокартон, просочена антипіретичними засобами деревина, скловолокно або склопластик).

• Горючі матеріали - речовини, які здатні горіти після видалення джерела запалювання.

Умови протікання і стадії пожежі

Для того, щоб сталася пожежа, необхідно наявність трьох умов:

• горючі речовини і матеріали;

• джерело запалювання - відкритий вогонь, хімічна реакція, електричний струм;

• наявність окислювача, наприклад, кисню повітря.

Для того щоб сталася пожежа, необхідно виконання ще однієї умови: наявність шляхів розповсюдження пожежі - горючих речовин, які сприяють поширенню вогню [640].

Сутність горіння полягає в нагріванні джерела запалювання пального матеріалу до початку його теплового розкладання. У процесі теплового розкладання утворюється чадний газ, вода і велика кількість тепла. Виділяється також вуглекислий газ і сажа, яка осідає на навколишній рельєф місцевості. Час від початку запалювання пального матеріалу до його займання називається часом займання. Максимальний час займання може становити кілька місяців. З моменту займання починається пожежа.

Залежно від величини пожежного навантаження, її розміщення по площі і параметрів приміщення визначається вид пожежі:

• локальний;

• об'ємний, регульований пожежним навантаженням;

• об'ємний, регульований вентиляцією.

Стадії пожежі у приміщенні

• Перші 10-20 хвилин пожежа поширюється лінійно уздовж горючого матеріалу. В цей час приміщення заповнюється димом, і виявити джерело полум'я неможливо. Температура повітря в приміщенні поступово піднімається до 250-300 градусів. Це температура займання всіх горючих матеріалів [641].

• Через 20 хвилин починається об'ємне поширення пожежі.

• Ще через 10 хвилин настає руйнування скління. Збільшується приплив свіжого повітря, різко збільшується розвиток пожежі. Температура досягає 900 градусів.

• Фаза вигоряння. Протягом 10 хвилин максимальна швидкість пожежі.

• Після того як вигорають основні речовини, відбувається фаза стабілізації пожежі (від 20 хвилин до 5 годин). Якщо вогонь не може перекинутися на інші приміщення, пожежа йде на вулицю. У цей час відбувається обвалення вигорілих конструкцій.

Попередження та боротьба з пожежами

Методи протидії пожежі поділяються на попереджувальні заходи, що зменшують імовірність виникнення пожежі (профілактичні) та безпосередньо захист і порятунок людей від вогню (тактичні). Для оперативного реагування на пожежу застосовують пожежні сповіщувачі різних типів.

Ліквідація пожежі полягає в її гасінні та спостереженні. Гасіння складається з двох частин – локалізації пожежі , тобто припинення поширення вогню, і догасіння, тобто ліквідація вогнища пожежі. Спостереження – безперервний або періодичний огляд пройденої пожежею площі. Найбільш доступними засобами гасіння загорянь і пожеж є вода, пісок, ручні вогнегасники, азбестові і брезентові покривала, а також гілки дерев та одяг.

Метою роботи є проведення огляду останніх наукових досліджень з даного питання та запропонувати математичну модель роботи інфрачервоного приймача імовірно – практичним його застосуванням.

Задачі роботи:

- провести аналіз останніх досягнень з означеного вище питання,
- розробити математичний апарат для даного виду випромінення,
- надати імовірно практично діючий апарат,
- зробити висновки та означити перспективи застосування даного методу з наведенням його переваг та недоліків.

Методи дослідження.

При оцінці коректності розроблених моделей теплового контролю використовувалися результати проведених випробувань електродвигунів та нових вузлів на стендах (розбіжність результатів розрахунків і даних вимірювань не більше 10%) і під вагонами в реальних умовах експлуатації, а також результати періодичних статистичних аналізів рівнів нагріву електродвигунів в загально мережевій експлуатації в КП «Харківський метрополітен».

Обґрунтованість результатів досліджень досягається комплексним використанням перевірених практикою теоретичних і емпіричних методів дослідження, а моделі процесу теплового контролю узгоджуються з досвідом створення і вдосконалення засобів теплового контролю [642].

Обґрунтованість реалізованих технічних рішень теплового контролю оцінювалася зіставленням показань, отриманих безконтактним способом з контактними вимірами температур електродвигунів та нових вузлів в зоні контролю (середня розбіжність вимірювань становить не більше 6%), а також позитивними результатами підконтрольної експлуатації в КП «Харківський метрополітен».

Методи дослідження теплового контролю.

Пропонується розробка та комп'ютерна реалізація унікального комплексу математичних моделей теплового безконтактного контролю електродвигунів, що включає моделювання роботи об'єкту контролю (електродвигуна) та

моделювання роботи засобу теплового контролю при проходженні поїзда.

Визначення теплових потоків базується на розрахунку кутових і лінійних швидкостей деталей підшипника, розрахунку розподілу навантажень на ролики. Домовимося вважати зону, обмежену дугою φ і в якій сприймається тілами кочення радіальне навантаження, що діє на підшипник, «навантаженою зоною», відповідно зону, обмежену дугою 360 – φ, - «ненавантаженою зоною».

Тоді радіальна щільність теплового потоку по «навантаженій зоні» зовнішнього кільця кожного циліндричного підшипника від сил тертя кочення визначається:

$$q_{нр_цл}^{\phi} = \frac{(Q_p+Q_ц)f_к i_н \frac{\phi}{360} 2\pi R \frac{\phi}{360}}{2\pi \ \frac{\phi}{360} l_p} = (Q_p + Q_ц) f_к i_н \frac{\phi}{360 l_p} \qquad (1)$$

Сумарна щільність теплового потоку в радіально навантаженої зоні зовнішнього кільця від першого і другого ряду роликів конічного підшипника обчислюється за виразом:

$$q_{нр_кн}^{\varphi_{1,2}} = (Q_{p_1} + Q_ц) f_к i_н \frac{\varphi_1}{360 l_p} + (Q_{p_2} + Q_ц) f_к i_н \frac{\varphi_2}{360 l_p} \qquad (2)$$

Щільність теплового потоку по «ненавантаженої зоні» зовнішнього кільця кожного циліндричного підшипника визначається:

$$q_{нр_цл}^{360-\varphi} = Q_ц f_к i_н \frac{360-\varphi}{360 l_p} \ . \qquad (3)$$

Сумарна щільність теплового потоку по «ненавантаженої зоні» зовнішнього кільця конічного підшипника визначається, як:

$$q_{нр_кн}^{360-\varphi_{1,2}} = Q_ц f_к i_н \frac{360-\varphi_1}{360 l_р} + Q_ц f_к i_н \frac{360-\varphi_2}{360 l_р} \quad . \tag{4}$$

В формулах (1) – (4) $f_к$ – коефіцієнт тертя кочення для підшипника (використовується залежність зміни коефіцієнта тертя від температури на підшипнику, залежність визначається шляхом ідентифікації за експериментальними даними в розділі 3);

$l_р$ – довжина роліка; $i_н$ – число контактів, що припадають на секунду на зовнішньому кільці підшипника;

$Q_р$ – середня радіальна навантаження на ролик;

$Q_ц = m_р d_0 \omega_c^2$ – відцентрова сила, що діє на кожен ролик в підшипнику,

де $m_р$ – маса роліка,

d_0 – діаметр окружності центрів роликів,

ω_c – кутова швидкість обертання сепаратора [643].

При розрахунку радіальної щільності теплового потоку на внутрішньому кільці підшипника враховується, що внутрішнє кільце обертається, тому в моделі тепловий потік прикладався на всю радіальну поверхню внутрішнього кільця. Тоді радіальна щільність теплового потоку на внутрішньому кільці знаходиться:

$$q_{вр} = [Q_р - Q_ц] f_к i_в l_в^{\varphi} / S_в \ , \tag{5}$$

де $l_в^{\varphi} = 2\pi R_в \frac{\varphi}{360}$ – довжина дуги навантаженої зони внутрішнього кільця по середній лінії;

$S_в = 2\pi R_в l_р$ – площа поверхні внутрішнього кільця.

Для внутрішніх кілець конічного підшипника у виразі (5) відповідно для

першого кільця – φ_1, другого кільця – φ_2.

Математичне моделювання процесів.

Теплові потоки від сил тертя ковзання.

Розрахунок щільності теплового потоку на торцеві поверхні кілець циліндричного підшипника.

Щільність теплового потоку на зовнішньому кільці дорівнює:

$$q_{на} = \frac{2\pi Q_a f_{ск} n_c Z R_{сн}}{S_{на}}, \qquad (6)$$

де Q_a – середнє осьове (аксіальне) навантаження на ролик;

Z – кількість роликів;

n_c – частота обертання сепаратора;

$R_{сн}$ - радіус середньої лінії торцевої поверхні зовнішнього кільця;

$S_{на}$ - площа торцевої поверхні зовнішнього кільця;

$f_{ск}$ – коефіцієнт тертя ковзання для циліндричного підшипника.

Щільність теплового потоку на внутрішньому кільці циліндричного підшипника дорівнює:

$$q_{ва} = \frac{2\pi Q_a f_{ск} n_c Z R_{св}}{S_{ва}}, \qquad (7)$$

де $R_{св}$ – радіус середньої лінії торцевої поверхні внутрішнього кільця;

$S_{ва}$ – площа торцевої поверхні внутрішнього кільця.

Для конічного підшипника аксіальна щільність теплового потоку на внутрішньому кільці другого і першого рядів конічного підшипника від радіального навантаження знаходиться за виразом:

$$q_{ва} = \frac{\pi d_0 Q_p f_{ск} Zn_c \sin\alpha}{S^к{}_{ва}}, \tag{8}$$

де $S^к{}_{ва}$– площа торцевої поверхні внутрішнього кільця, що взаємодіє з роликами;

$f_{ск}$– коефіцієнт тертя ковзання для конічного підшипника;

α – кут контакту [644] .

Аксіальна щільність теплового потоку від осьового навантаження на внутрішньому кільці ряду роликів, що сприймає перше осьове навантаження

$$q_{ва1} = \frac{\pi d_0 Q_a f_{ск} Zn_c}{S^к{}_{ва}}. \tag{9}$$

Теплові потоки, які обчислюють за формулами (1) - (9), використовуються як «навантаження» для оцінки розподілу температурних полів в електродвигуновому вузлі з циліндричними і конічним підшипниками методом кінцевих елементів (МКЕ).

Рівняння теплопереносу в приватних похідних, записане в векторно-матричному вигляді, виразиться таким чином:

$$\rho C\left(\frac{\partial T}{\partial t} + \{V\}^T \{L\}T\right) + \{L\}^T \{q\} = \{\ddot{q}\}, \tag{10}$$

де ρ – щільність;

C – теплоємність;

T – температура;

t – час;

$\{V\}$ – вектор швидкості передачі тепла;

$\{L\}$ – векторний оператор диференціювання ;

$\{q\}$ – вектор теплового потоку;

$\{\dot{q}\}$ – генерація тепла в одиниці об'єму.

Рівняння (10) в матричній формі, приведене до методу кінцевих елементів, записується таким чином:

$$[K]\{T\}+[C]\{\dot{T}\}=\{Q\}, \tag{11}$$

де $[K]$ – матриця теплопровідності;

$[C]$ – матриця питомих теплоємність;

$\{T\}$ – вузлові температури;

$\{\dot{T}\}$ – швидкість зміни температури;

$\{Q\}$ – вектор вузлового теплового потоку.

Для апроксимації геометрії електродвигуна стосовно до теплового аналізу був обраний об'ємний 10-ти вузловий кінцевий елемент у вигляді тетраедра.

При розробці кінцево-елементної моделі та розрахункової схеми був застосований оригінальний підхід, який дозволив змоделювати теплоперенос з «навантаженої зони», обмеженої кутом φ, в «ненавантажену» за рахунок обертових деталей. Очевидно, що основний нагрів роликів, сепаратора, мастила та внутрішніх кілець підшипника відбувається в «навантаженої зоні», обмеженої кутом φ, в «ненавантаженої зоні» відбувається перерозподіл тепла між рухомими і нерухомими деталями електродвигуна. Тому основним елементом застосованого підходу, що враховує згадані вище явища, є використання в моделі наступного припущення: обсяг, займаний роликами, сепаратором і мастилом в підшипнику був замінений в циліндричній системі координат моделі єдиним тілом обертання (РСЗ - ролик-сепаратор-змащення), яке також розбивалося на кінцеві елементи. При цьому через властивості окремих компонентів визначалися еквівалентні теплофізичні властивості (щільність, теплоємність і теплопровідність) тіла РСЗ. Еквівалентна теплопровідність λРСС комплексу РСЗ

в напрямках осей циліндричної системи координат моделі визначалася за формулою (12):

$$\lambda_{PCC} = \frac{\lambda_{рол} V_{рол} Z + \lambda_{c} V_{c} + \lambda_{см} V_{см}}{V_{PCC}} \cdot n \quad , \qquad (12)$$

де n – частота обертання відповідно:

для осі у – частота обертання сепаратора підшипника;

n = 1– для осі z,

для осі х – частота обертання ролика навколо своєї осі;

V – об’єм; індексы:

рол – ролик;

с – сепаратор;

см – мастило[645].

Це дозволило змоделювати перерозподіл тепла при обертанні обойми роликів з сепаратором. Аналогічним чином в моделі визначалися теплопровідності всіх обертових тіл електродвигуна.

Враховуючи, що електродвигун працює в умовах обтікання повітряним потоком від руху і, відповідно з цим, його впливу на тепловий режим вузла, була розроблена модель для розрахунку обтікання зустрічним потоком повітря електродвигуна. Завдання полягає у визначенні граничних умов для розрахунку по МКЕ - коефіцієнтів тепловіддачі і розподілі їх по поверхні корпусу редуктора і кришки при різних початкових температурах тіла, температурах і швидкості набігаючого потоку.

Електродвигун представляє тіло складної геометричної форми, яку можна представити як сполучення циліндричних і плоских поверхонь. Тому рішення задачі тепловіддачі на поверхні електродвигуна вироблялося для ламінарного режиму за допомогою критеріальних рівнянь для циліндра і пластини [646] .

У третьому блоці моделюється проходження електродвигуна через зону контролю приймача ІЧ випромінювання. При цьому вирішується геометрична

просторова задача динамічного перетину поверхні електродвигуна з зоною контролю приймача, вираженої в просторі конусом з вершиною, що знаходиться в точці, з якої виходить оптична вісь приймача. Оскільки СТК сприймає теплове випромінювання тільки зовнішніх поверхонь елементів, то в модель сканування редуктора передаються дані (координати) лише зовнішніх вузлів кінцево-елементної сітки. Залишені після селекції кінцеві елементи набувають трьох вузлову структуру, що представляє собою ділянку поверхні, обмежену трикутником. Завдання вирішується шляхом перетворення за допомогою векторно-матричних перетворень координат вузлів КЕ з рухомої системи координат, пов'язаної з електродвигунами, в базову нерухому («земля»). Це дозволяє при розрахунку положення вузлів КЕ врахувати переміщення та кути повороту редуктора в просторі при русі вагона. В результаті на базі вихідного масиву кінцевих елементів (КЕ) з поверхні контрольованого електродвигуна одиниці рухомого складу $М_Т[КЭ_1^S, КЭ_2^S,\ldots КЭ_i^S,\ldots КЭ_k^S]$ (де k – номер кінцевого елемента; s – індекс КЕ, у яких три вузли знаходяться на поверхні електродвигуна) в процесі «відсіву» КЕ за ознакою «попадання» в зону контролю приймача ІЧ випромінювання формується новий масив n кінцевих елементів, що знаходяться в даний момент часу в зоні контролю і теплове випромінювання яких сприймається приймачем [647] .

Таким чином, в четвертий блок передається геометрична і фізична інформація (значення температур) про кінцеві елементи, що знаходяться в зоні контролю приймача в кожен момент часу. За розрахованими значеннями середніх температур в КЕ, що знаходяться в зоні контролю («плямі») в кожний момент часу, може бути побудована осцилограма теплового сигналу, пропорційного ліченої температурі.

У четвертому блоці комплексу моделей виконується визначення параметрів інфрачервоного випромінювання з отриманого в блоці 3 масиву кінцевих елементів, що потрапили в зону контролю приймача в кожен момент часу. При цьому моделюються фактори, що впливають на прийом випромінювання, це - властивості зовнішнього середовища, геометричні

параметри системи [643-647] .

Променистий потік, що сприймається приймачем, зі спектральною чутливістю, укладеною в діапазоні хвиль $\lambda_1,...\lambda_2$, обчислюється згідно законів теплообміну через випромінювання за формулою:

$$F = \frac{S_{об} \cdot \varepsilon}{\pi} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} S_\lambda(\lambda) \cdot K_a(\lambda) \cdot K_0(\lambda) \cdot r(\lambda, T) d\lambda \int_{(S)} \frac{\cos(\alpha) \cdot \cos(\omega)}{l^2}, \qquad (13)$$

де $S_{об}$ – робоча площа об'єктива приймача ІЧ випромінювання;

$S_\lambda(\lambda)$ – спектральна чутливість приймача ІЧ випромінювання;

$K_a(\lambda)$ – коефіцієнт пропускання атмосфери;

$K_0(\lambda)$ – коефіцієнт пропускання оптичної системи;

$r(\lambda,T)$ – спектральна інтенсивність щільності випромінювання абсолютно чорного тіла;

l – відстань від центру об'єктиву до майданчика випромінювання;

ε – ступінь чорноти або коефіцієнт випромінювання;

ω, α – кути між напрямом оптичної осі і нормаллю поверхні.

Кінцеві елементи в зоні сканування мають різну температуру і, відповідно, різне становище в спектрі максимальної спектральної щільності випромінювання, яке визначається законом зміщення Віна. Крім того, КЕ мають різну орієнтацію відносно приймача. Враховуючи це, а також вважаючи площу КЕ дуже малою величиною, запишемо вираз (13) у вигляді:

$$F = \sum_{i=1}^{n} \sum_{q=1}^{u} F_i^q = \frac{S_{об} \cdot \varepsilon}{\pi} \sum_{i=1}^{n} \sum_{q=1}^{u} \left(S_\lambda^q \cdot K_a^q \cdot K_0^q \cdot R_i^q \cdot S_i \cdot \frac{\cos(\varphi_i)}{l_i^2} \right), \qquad (14)$$

де i – номер КЕ;

q – номер інтервалу спектру випромінювання;

S_λ^q, K_a^q, K_0^q – спектральна чутливість і коефіцієнти пропускання приймача,

визначені у першому наближенні як константи для q-го інтервалу спектру випромінювання;

u – кількість інтервалів, на які розбита інфрачервона область спектра електромагнітного випромінювання;

S_i – площа і-го кінцевого елемента;

R_i^q – сумарна щільність випромінювання i-го КЕ, як абсолютно чорного тіла в інтервалі діапазону хвиль q;

φ_i – кут між направляючим вектором орієнтації приймача і нормалі i-го кінцевого елементу;

l_i – відстань між приймачем і i-м кінцевим елементом.

Сумарна щільність випромінювання R_i^q i-го КЕ визначається з виразу закону Планка для розподілу інтенсивності випромінювання за спектром для абсолютно чорного тіла:

$$R_i^q = \int_{\lambda_1^q}^{\lambda_2^q} \frac{2 \cdot \pi \cdot h \cdot c^2}{\lambda^5 \cdot \left(e^{\frac{h \cdot c}{\lambda \cdot K \cdot T_i}} - 1 \right)} d\lambda , \qquad (15)$$

де $h = 6.6256 \cdot 10^{-34}$ Дж·с – постійна Планка;

$c = 2.998 \cdot 10^8$ м/с – швидкість світла;

$\kappa = 2.38054 \cdot 10^{-23}$ Дж/К – постійна Больцмана;

T – абсолютна температура чорного тіла в градусах К;

λ_1^q, λ_2^q – кордони q-го діапазону випромінювання.

У 5 блоці моделюється робота приймального пристрою СТК. Залежно від експлуатаційних умов і можливостей апаратури застосовуються абсолютна (температурна) або відносна (по відносній температурі або в умовних квантах теплового сигналу) оцінки нагріву електродвигунів рухомого складу [648-650] .

Визначивши значення потужності випромінювання F прийнятого приймачем СТК (див. формулу 14) можна розрахувати середню абсолютну

температуру поверхні нагрітого тіла (двигуна) в зоні контролю («плямі»). При цьому для розрахунку скористаємося формулою (13), підставляючи в неї наближені значення параметрів, бо точне положення сканованого тіла (S, l, ω, α) і параметри прозорості середовища ($K_a(\lambda), K_0(\lambda)$) на практиці в реальній ситуації точно визначити неможливо.

Запишемо формулу (13) для СТК з діапазоном спектральної чутливості приймача ($\lambda_1 - \lambda_2$)

$$F = \frac{S \cdot S_{об} \cdot \varepsilon}{\pi} S_\lambda \cdot K_a \cdot K_0 \cdot R_{ср} \frac{\cos(\varphi)}{l^2}, \qquad (16)$$

де S – площа скануємої поверхні;

φ – кут між направляючим вектором орієнтації приймача і нормалі поверхні тіла;

$R_{ср}$ – середня щільність випромінювання поверхні тіла в зоні сканування.

З виразу (16) знайдемо середню щільність випромінювання $R_{ср}$:

$$R_{ср} = \frac{F \cdot \pi \cdot l^2}{S \cdot S_{об} \cdot \varepsilon \cdot S_\lambda \cdot K_a \cdot K_0 \cdot \cos(\varphi)} \quad . \qquad (17)$$

Опишемо зв'язок між щільністю випромінювання і температурою випромінювача. Оскільки інтеграл у формулі Планка (15) не піддається аналітичному рішенню, встановити залежність між R і T можна шляхом апроксимації рішень інтеграла, отриманих чисельними методами. Тоді середня температура поверхні редуктора в зоні сканування ІК приймачем може бути представлена наступним чином:

$$T_{ср} = f(R_{ср}). \qquad (18)$$

Рівень теплового сигналу (ТЗ) в градусах визначається, як різниця температур ΔT редуктора $T_Б$ та елементів візка $T_Т$ (фон), що знаходяться в схожих фізичних умовах, але при цьому не підпадають під тепловий вплив редуктора.

Таким чином, різниця ΔT дорівнюватиме

$$\Delta T = T_Б - T_Т = f\left(R_Б\right) - f\left(R_Т\right). \tag{19}$$

Для перерахунку рівня ТЗ з градусів в кванти, що використовуються в засобах теплового контролю ПОНАБ, ДИСК і КТСМ, скористаємося встановленою при калібруванні даної апаратури ціною одного кванта *Ц* в °С (залежить від температури зовнішнього повітря $T_{НВ}$):

$$Ц\left(T_{НВ}\right) = \frac{Ур.к}{\Delta T_К} = \frac{Ур.к}{\left(T_Н\left(T_{НВ}\right) - T_{НВ}\right)}, \tag{20}$$

де $T_Н$ – температура нагрівача калібратору (залежить від температури зовнішнього повітря $T_{НВ}$);

Ур.к, ΔТк – рівень теплового сигналу, на який калібрується прилад в квантах і градусах згідно з прийнятими калібрувальними таблицями для названої апаратури.

Тоді рівень теплового сигналу редуктора в кванти

$$Ур = Ц(T_{НВ}) \cdot \Delta T. \tag{21}$$

Перші два блоки розглянутого комплексу моделей відносяться до функціонування об'єкта теплового контролю і можуть бути названі нами для зручності «віртуальний електродвигун», третій, четвертий і п'ятий блоки відносяться до моделювання роботи засобу теплового контролю і можуть бути названі «віртуальний прилад». «Віртуальний електродвигун» і «віртуальний прилад» для кожного конкретного випадку (типу рухомого складу, типу СТК) утворюють віртуальну модель теплового контролю. Згідно розроблених і

наведених вище математичних моделей блоків 3-5 було розроблено спеціальне програмне забезпечення для комп'ютерної реалізації «віртуального приладу». Програмне забезпечення згідно з алгоритмом здійснює зчитування теплових полів, отриманих на термомеханічної моделі, обробку траєкторії сканування, визначення осцилограми сигналу [651] .

Результати досліджень.

Багаторічний досвід експлуатації технічних засобів контролю показує, що найкращі результати можуть бути досягнуті під час стеження за нагрівом електродвигунів за кількома ділянками контролю. Це дозволяє застосувати нові діагностичні ознаки, пов'язані з динамікою нагріву редуктору. З урахуванням структури і принципів обслуговування рухомого складу на шляху прямування сформована схема передачі інформації від пристроїв контролю перегрітих електродвигунів. Відповідно до даної схеми розроблена архітектура розподіленої системи. Архітектура системи має мережеву ієрархічну топологію, відповідно до структури і будується з визначенням рівнів.

Результати теоретичних досліджень.

Створення КТСБ-02 (Комплекс Технічних Систем Багатофункціональний) базувалося на принципі побудови багатофункціональної підлогової системи діагностики рухомого складу. У комплекс може включатися до п'ятнадцяти підсистем контролю стану рухомого складу, підлогове обладнання яких з первинними перетворювачами (датчиками і додатковими пристроями) розміщується на насипу, поруч або на верхньому шляху відповідно проведеним підсистемами вимірам. На підставі висновків, отриманих в дослідженнях для підлогового обладнання підсистеми КТСБ-02 Б (контроль нагріву електродвигунів) розроблена спеціальна малогабаритна підлогова камера КНМ-05, яка встановлюється на підошві рейки.

За найважливішими показниками призначення та економічними показниками розроблений багатофункціональний комплекс КТСМ-02 перевершує всі експлуатовані на залізницях засоби теплового контролю електродвигунів та нових вузлів.

Прикладне програмне забезпечення АСК ПС складається з автоматизованих робочих місць оператора лінійного поста контролю (АРМ ЛПК) і центрального поста контролю (АРМ ЦПК), забезпечує вирішення таких основних завдань:

- автоматичний прийом інформації від засобів теплового контролю;
- автоматичне формування сигналів тривоги і оповіщення при перегріві електродвигунів;
- перегляд і аналіз архівів збереженої інформації в інтерактивному режимі;
- видачу архівних і статистичних даних про роботу СТК;
- зміна параметрів налаштування порогових значень тривоги.

Програмні засоби АРМа ЦПК дозволяють також здійснювати спостереження за розвитком в поїзді дефектів (моніторинг) на ділянці.

В основі інформаційного забезпечення розподіленої системи теплового контролю лежить розроблена апостеріорна модель розпізнавання класів стану електродвигуна. Розробка моделі складається з наступних процесів:

- обґрунтування вибору діагностичних ознак;
- розрахунково-апостеріорний метод визначення контрольних значень діагностичних ознак.

Згідно досліджень, проведених С.П. Лозінським, Е.Е. Трестманом, В.І. Самодуровим, В.Л. Зразковим, а також досвіду експлуатації СТК, накопиченого під час дослідження у даній роботи, при тепловому контролі електродвигунів та нових вузлів можуть використовуватися кілька діагностичних ознак.

На підставі визначення потенційної інформативності ознак і аналізу досліджень згаданих авторів будемо використовувати дві базові ознаки розпізнавання: амплітуда сигналу електродвигунів (рівень – Ur) і відношення амплітуди сигналу кожної редуктора вагона до середнього значення амплітуд сигналів інших електродвигунів Ur_{cp} по відповідній стороні вагона (відношення – Otn).

Розглянемо отримані шляхом обробки сигналів від електродвигунів в експлуатації розподіли ймовірності справних і несправних електродвигунів для

двох діагностичних ознак (*Ur, Otn*). Завдання розпізнавання полягає у визначенні рівняння лінії виду *D (Ur, Otn)*, яка, проходячи з даного простору (площини в нашому випадку), мінімізувала б імовірність сумарної помилки розпізнавання несправних електродвигунів за двома ознаками. Назвемо цю лінію для зручності пороговою кривою, яка визначає межу між класами різних станів.

Теоретичне рішення задачі визначення розділяє функції в умовах неоднозначності розподілів призведе до великої кількості помилок розпізнавання, що неприпустимо для залізничної галузі.

Запропоновано порогову криву в просторі значень ознак *Ur, Otn* утворювати накладенням трьох порогових обмежень:

1) поріг тільки за рівнем відносної (надлишкової) температури нагріву редуктора (ознака *Ur*), відповідний гранично допустимим в експлуатації нагріванням підшипників;

2) граничне обмеження в зоні перетину областей значень обох ознак для класів справних і несправних електродвигунів (у так званій «зоні невизначеності»);

3) граничне обмеження для електродвигунів з великим нагріванням щодо інших електродвигунів у вагоні (ознака *Otn*).

Розглянемо правила утворення кожного порогового обмеження.

Для першого обмеження лімітуємою температурою нагріву служить абсолютне значення температури неприпустимого в експлуатації процесу падіння крапель мастила. Знаючи дану температуру, через коефіцієнт передачі відносної температури з підшипника на зону контролю корпусу редуктора (визначений за допомогою термомеханічної моделі) знаходимо порогову відносну температуру на корпусі в зоні контролю.

Для другого обмеження в зоні невизначеності пропонується на базі наявного багатого статистичного матеріалу застосувати коефіцієнт, який представляє співвідношення кількості (імовірності) несправних електродвигунів до кількості справних електродвигунів. Для одновимірного розподілу

$$K\left(Ur_{пор}\right)=\frac{P_{Н}\left(Ur_{пор}\right)}{P_{И}\left(Ur_{пор}\right)} \quad . \tag{22}$$

Для двовимірного (за двома ознаками *Ur ,Otn*) вираз запишеться у вигляді:

$$K\left(Ur,Otn\right)=\frac{P_{Н}\left(Ur,Otn\right)}{P_{И}\left(Ur,Otn\right)}=\frac{f_{Н}\left(Ur,Otn\right)}{f_{И}\left(Ur,Otn\right)}\cdot\frac{N_{Н}}{N_{И}} \quad , \tag{23}$$

де $P_{Н}(Ur,Otn)$, $P_{И}(Ur,Otn)$ – кількість несправних і справних електродвигунів;

$f_{Н}(Ur,Otn)$, $f_{И}(Ur,Otn)$ – частота несправних і справних електродвигунів;

$N_{Н}$, $N_{И}$ – загальна кількість несправних і справних електродвигунів.

В результаті за розрахованим прийнятим діапазоном значень коефіцієнта К можемо побудувати безліч порогових кривих для зони 2, кожна з яких буде відображати певну відому нам ступінь ризику від мінімального значення до максимального.

Для третього обмеження для електродвигунів з високим відносним нагріванням необхідно використання нової ознаки, похідного від ознак *Ur* і *Otn* (ознака «Різниця»):

$$P_i = Ur_i - Ur_{ср}. = Ur_i(1-1/Otn_i). \tag{24}$$

Різницю значень ознаки *Ur* розглянутої редуктора і середнього значення по вагону $Ur_{ср}$ можна трактувати, як перегрів редуктора щодо «нормального» рівня нагріву для даного режиму. Потенціал ознаки «Різниця» можна підвищити за рахунок застосування статистичного алгоритму розрахунку «нормального» рівня нагріву електродвигунів.

Нагадаємо, що відмови по електродвигуна складають близько 60% усіх відмов по вагонному господарству.

Отримано наступні значення: вірогідність помилкової тривоги $P_{ЛТ}$ = $6{,}48x10^{-8}$ і ймовірність пропуску несправних електродвигунів: $P_{ПР} = 3{,}55x10^{-10}$.

REFERENCES

1. Demchyna B., Vozniuk L., Surmai M. (2019). Conditions of existing residential buildings 50–60 years and mistakes of their construction. Theory and Building Practice, Lviv, Vol.1, No.1, 43-49.

2. Demchyna B., Vozniuk L. (2020). Emergency condition of loggies in buildings with supporting brick walls . Theory and Building Practice, Lviv, Vol.2, No.2, 28-34.

3. Klimenko V.Z., Belov I.D. (2005). Vyprobuvannia ta obstezhennia budivelnykh konstruktsii i sporud. Osnova, Kyiv. 207 p (in Ukrainian).

4. Sukhanov V.T., Korobko O.O., Lysenko V.A. (2005). Diahnostyka, otsinka ta metody obstezhennia. Navchalnyi posibnyk, Odesa, Optimum, 194 p (in Ukrainian).

5. Pevnev V.Ia., Borzov M.N. (2009). Sposoby opredelenyia vnutrennykh defektov v stenakh pomeshchenyi. Systemy obrobky informatsii, zb. nauk. pr. KhU PS, Vol. 7 (79), pp. 38-40 (in Russian).

6. Hladyshev D.G., Hladyshev H.M., Hladyshev R.D. (2017). Otsiniuvannia deformovanoho stanu budynkiv v mezhakh ushchilnenoi zabudovy u fiksovanykh inzhenerno-heolohichnykh umovak, Visnyk Odeskoi derzhavnoi akademii budivnytstva ta arkhitektury, Odesa, Vol. 68, pp. 178–187 (in Ukrainian).

7. Hladyshev. D., Hladyshev. H., Tsarov Ye., Dats. A. (2016) Analiz vertykalnykh deformatsiia hrupy zhytlovykh budynkiv staroi zabudovy. Nauka ta budivnytstvo. Vol.1, No.7. 28-34 pp. (in Ukrainian).

8. Hladyshev. D., Hladyshev. H. (2012) Doslidzhennia tekhnichnoho stanu budivel, sporud ta yikhnikh elementiv. Monohrafiia. Lvivska politekhnika. 304 p. http://elar.nung.edu.ua/handle/123456789/5039. (in Ukrainian).

9. Barashykov A.Ia. (1998). Otsenka tekhnycheskoho sostoianyia stroytelnыkh konstruktsii zdanyi y sooruzhenyi, NMTs Dernahliadokhoronpratsi Ukrainy, 238 p (in Russian).

10. Shmukler V., Honcharenko D., Konstantynov A., Zynchenko V. (2013). Vosstanovlenye krupnopanelnoho zdanyia, razrushennoho vrezultate tekhnohennoi katastrofy. Promyslove budivnytstvo ta inzhenernisporudy. Vol.2. 34-39 pp. (in Russian).

11. Osipov V. O. Soderzhanie, rekonstruktsiya, usilenie i remont mostov i trub / V. O. Osipov [i dr.]; pod red. V. O. Osipova i Yu. G. Kozmina. – M.: Transport, 1996. – 471 s.

12. Luchko Y. Y. Analiz rozkryttia ta metodyka rozrakhunku trishchynostiikosti zalizobetonnykh trubnykh elementiv / Y. Y. Luchko, V. V. Kovalchuk, I. B. Kravets // [Tezy Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii imeni doktora tekhnichnykh nauk Sokola Eduarda Mykolaiovycha «Bezpeka rukhu i naukovi zasady ekspertnykh

doslidzhen transportnykh pryhod ta inzhenernykh sporud»]. – L.: LF DNUZT, 2015. – S. 67–68.

13. Prakash Rao. D. S. Temperature Distribution and Stresses in Concrete Bridges / D. S. Prakash Rao // American Concrete Institute, ACI Journal. – 1986. − Vol. 83, №4. − P. 588–596.

14. Luchko Y. Y. Termopruzhnyi stan transportnykh sporud iz metalevykh hofrovanykh konstruktsii pry dii zminnykh temperatur navkolyshnoho seredovyshcha / Y. Y. Luchko, V. V. Kovalchuk / Naukovo-praktychnyi seminar «Aktualni problemy remontiv ta utrymannia mostiv». – Odesa: DP «DerzhdorNDI», 2019. – S. 69.

15. Hoffman P. C. Temperature Problem in a Prestressed Box-Girder Bridge / P. C. Hoffman, R. M. Meclur, H. H. West // Transportation Research Record. − 1984. − № 982. – P. 42–50.

16. Luchko Y. Y. Doslidzhennia temperaturnoho polia ta napruzhenoho stanu prohonovoi budovy stalezalizobetonnoho mosta / Y. Y. Luchko, Yu. M. Hnativ, V. V. Kovalchuk // Visnyk Ternopilskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu. – 2013. – № 2. – S. 29–38.

17. Kovalchuk V. V. Otsinka nesuchoi zdatnosti transportnykh sporud iz metalevykh hofrovanykh konstruktsii v umovakh ekspluatatsiinykh navantazhen / V. V. Kovalchuk, Y. Y. Luchko / Naukovo-praktychnyi seminar «Aktualni problemy remontiv ta utrymannia mostiv». – Odesa: DP «DerzhdorNDI», 2019. – S. 55.

18. Darchuk O. I. Rozrakhunkova skhema truboprovodu pidsylenoho bandazhem / O. I. Darchuk, Y. Y. Luchko, V. A. Zozuliak // Mekhanika i fizyka ruinuvannia budivelnykh materialiv i konstruktsii, FMI im. H. V. Karpenka NAN Ukrainy. – Lviv: Kameniar, 1998. – Vyp. 3. – S. 584–593.

19. Kovalchuk V. V. Nesucha zdatnist transportnykh sporud iz metalevykh hofrovanykh konstruktsii v umovakh ekspluatatsii / V. V. Kovalchuk, Y. Y. Luchko / III Mizhnarodna konferentsiia «Ekspluatatsiia ta rekonstruktsiia budivel ta sporud». – Odesa, ODABA, 2019. – S. 75.

20. DBN V.1.2-15:2009. Sporudy transportu. Mosty ta truby. Navantazhennia i vplyvy: Nakaz Ministerstva rehionalnoho rozvytku ta budivnytstva Ukrainy vid 11. 11. 2009 r., № 484.

21. Posibnyk do VBN V.2.3-218-198:2007. Sporudy transportu. Proektuvannia ta budivnytstvo sporud iz metalevykh hofrovanykh konstruktsii na avtomobilnykh dorohakh zahalnoho korystuvannia. – K., 2007. – 122 s.

22. Metallicheskie gofrirovannyie konstruktsii: dostoinstva i perspektivyi // Evraziya Vesti: Transportnaya gazeta. – Ministerstvo transporta RF. – 2008. – № 2.

23. Osokin I. A. Sovershenstvovanie metodov rascheta metallicheskih gofrirovanyih konstruktsiy s ekspluatatsionnyimi povrezhdeniyami: Dissertatsiya na soiskanie uchenoy stepeni kand. tehn. nauk. – Ekaterinburg, 2014. – 242 s.

24. Pereselenkov G. S. Puteprovodyi iz metallicheskih gofrirovannyih struktur / G. S. Pereselenkov, G. G. Orlov, G. A. Kirillov // Transportnoe stroitelstvo. – 2009. – № 4. – S. 10–13.

25. U miskii radi Kropyvnytskoho prezentuvaly maibutnii shliakhoprovid mizh vulytsiamy Elvorti i Mykoly Levytskoho. – [Эlektronnыi resurs], rezhym dostupu: http://www.kr-rada.gov.ua/news/u-miskiy-radi-kropivnitskogo-prezentuvali-maybutniy-shlyahoprovid-mizh-vulitsyami-elvorti-i-mikoli-levitskogo.html.

26. Danilenko E. I. Pravyla rozrakhunkiv zaliznychnoi kolii na mitsnist i stiikist (TsP/0117) / E. I. Danilenko, V. V. Rybkin; Zatverdzheno nakazom Ukrzaliznytsi vid 13. 12. 2004 r. № 960 TsZ. – Kyiv: Transport Ukrainy, 2006. – 168 s.

27. Sysyn M. P. Die Tragfähigkeit von Eisenbahndurchlässen in Abhängigkeit von der Bauausführung und der Instandhaltung / M. P. Sysyn, W. W. Kowaltschuk, O. S. Nabotschenko, Ulf Gerber // ETR – Eisenbahntechnische Rundschau. – Euralpres, Deutschland, Mai 2016. – Wol. 5. – S. 39–44.

28. Kunecki B. Zachowanie się ortotropowych powłok walcowych w ośrodku gruntowym pod statycznym i dynamicznym obciążeniem zewnętrznym. Rozprawa doktorska / Instytut Budownictwa Politechnika Wrocławska, Raport serii PRE nr 14/2006. – Wrocław, 2006.

29. Luchko Josef. Methods of assessing the bearing capacity of corrugated metal structures / Josef Luchko, Vitalii Kovalchuk // Вісник Тернопільського національного технічного університету. – 2016 – № 3(83). – С. 79–90.

30. Machelski C. Modelowanie mostowych konstrukcji gruntowo-powłokowych. – Wrocław: Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, 2008.

31. Frydrychowska K. Metody wzmacniania przepustów komunikacyjnych / K. Frydrychowska, K. Kozińska // Praca magisterska w specjalności drogowomostowej wykonana pod kierunkiem prof. UZA. Wysokowskiego. Uniwersytet Zielonogórski. – Zielona Góra, 2009.

32. Luchko Y. Y. Doslidzhennia nesuchoi zdatnosti metalevoi hofrovanoi konstruktsii za kryteriiem rozvytku plastychnoho sharniru / Y. Y. Luch-ko, V. V. Kovalchuk, O. S. Nabochenko // Visnyk Dnipropetrovskoho nats. un-tu zalizn. transportu im. akadem. V. Lazariana «Nauka ta prohres transportu». – Dnipropetrovsk, 2015. – Vyp. 5 (59). – S. 180–194. doi:10.15802/stp2015/55340.

33. Kovalchuk V. Research and analysis of the stressed-strained state of metal corrugated structures of railroad tracks / V. Kovalchuk, J. Luchko, I. Bondarenko, R. Markul, B. Parneta // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – Kharkov. – 6/7 (84), 2016. – P. 4–10. doi: http://dx.doi.org/10.15587/1729-4061.2016.84236.

34. Kovalchuk V. V. Vplyv tovshchyny hofrovanoho elementa na napruzheno-deformovanyi stan metalevykh hofrovanykh konstruktsii // Visnyk Dnipropetrovskoho nats. un-tu zalizn. transportu im. akadem. V. Lazariana «Nauka ta prohres transportu».

– Dnipropetrovsk, 2015. – Vyp. 3 (57). – S. 199–207. doi: http://dx.doi.org /10.15802/stp2015/46079.

35. Kovalchuk V. V. Skinchenno-elementnyi rozrakhunok napruzheno-deformovanoho stanu metalevykh hofrovanykh konstruktsii pry vzaiemodii iz hruntom zasypky u prohramnomu seredovyshchi NX NASTRAN // Visnyk Lvivskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu. – Lviv, 2015. – № 16. – S. 19–25.

36. Nastechyk M. P. Doslidzhennia napruzhenoho stanu v elementakh vuzla promizhnoho reikovoho skriplennia typu KPP-5 pid diieiu rukhomoho skladu / M. P. Nastechyk, I. O. Bondarenko, R. V. Markul // Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana «Nauka ta prohres transportu». – Dnipropetrovsk, 2015. – Vyp. 2 (56). – S. 146–156. doi: http://dx.doi.org/10.15802/stp2015/42174.

37. Mechelski Czeslawю Vodelowanie mostowych konstrukcji gruntowo-powlokowych. – Wroclaw, 2008. – 205 s.

38. Esmaeili1 M. Minimum depth of soil cover above long-span soil-steel railway bridges of Advanced Structural Engineering / M. Esmaeili1, Ali Zakeri, P. H. Abdulrazagh. – 2013. – Vol. 5, Issue 1. – P. 1–7. doi: http://www. advancedstructeng.com/content/5/1/7.

39. Ahad F. R. Modeling the Dynamic Failure of Railroad tank cars using a physically motivated internal state variable plasticity damage nonlocal model / F. R. Ahad, K. K. Enakoutsa, N. Solanki, Y. Tjiptowidjojo, D. J. Bammann // Modelling and Simulation in Engineering, 2013. – 11 p. doi: http://dx.doi.org/10.1155/2013/815158.

40. Жемочкин Б.Н. Расчет упругой заделки стержня / Жемочкин Б.Н. – М.:Стройиздат, 1948. – 69 с.

41. Жемочкин Б.Н. Практические методы расчета фундаментных балок и плит на упругом основании / Б.Н. Жемочкин, А.П. Синицын. – М.:Госстройиздат, 1962. – 239 с.

42. Малиев А.С. Балки на упругом основании / А.С. Малиев //Труды НИИПромстрой. – 1938. – Вып. 6. – С. 9 – 34.

43. Кузнецов В.И. Упругое основание / Кузнецов В.И. – М.:Стройиздат, 1952. – 296 с.

44. Жемочкин Б.Н. Практические методы расчета фундаментных балок и плит на упругом основании / Б.Н. Жемочкин, А.П. Синицын. – М.:Госстройиздат, 1962. – 239 с.

45. Лучковский И.Я. Взаимодействие конструкций с основанием / Лучковский И.Я. – Х.: Изд-во ХГПУ, 2000. – 264 с.

46. Лучковский И.Я. Работа свай на горизонтальную нагрузку в просадочных грунтах / И.Я. Лучковский, Г.С. Лекумович // Сб. Харьковского

ПромстройНИИпроекта "Расчет конструкций подземных сооружений". – 1976. – С. 71 – 74.

47. Довгий А.Н. Продольно-поперечный изгиб стержней в упругоподатливой среде с учетом физической нелинейности материала : дис. … канд. техн. наук: 01.02.03 / Довгий Алексей Николаевич. – Харьков, 1984. – 193 с.

48. Руководство по проектированию свайных фундаментов. НИИОСП им. Н.М. Герсеванова Госстроя СССР. – М.: Стройиздат, 1980. – 151 с.

49. Горбунов-Посадов М.И. Основания, фундаменты и подземные сооружения / Горбунов-Посадов М.И., Ильичев В.А., Крутов В.И.; под общ. ред. Е.А. Сорочана и Ю.Г. Трофименкова. М.: Стройиздат, 1985. – 480 с. – (Справочник проектировщика).

50. Лучковский И.Я. Исследование влияния распределенных нагрузок на напряженное состояние линейно-деформируемого основания и давление грунта на ограждающие конструкции подземных сооружений / И.Я. Лучковский // Сб. ХГАГХ "Коммунальное хозяйство городов". – 2000. – Вып. 23. – С.14 – 27.

51. Лучковский И.Я. Изгиб стержней в упругоползучей среде (анкеров, дюбелей, стальных закладных деталей для сборных железобетонных конструкций): дис. … канд. техн. наук: 05.23.01 / Лучковский Илья Яковлевич. – Харьков, 1967. – 180 с.

52. Кананян А.С. Расчет свай, подверженных действию горизонтальных сил / А.С. Кананян // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1968. – № 2. – С. 10-14.

53. Пеньковский Г.Ф. Учет ползучести бетона в расчете железобетонных неразрезных балок на жестких опорах и балок на упруго-ползучем основании: автореферат дис. … канд. техн. наук: 05.23.01 / Пеньковский Г.В. – Владивосток, 1964. – 24 с.

54. Урбан И.В. Расчет тонких стенок с учетом упругих свойств грунта и стенки / Урбан А.Н. // Труды МИИТ. – 1939. – Вып. 55. – С. 17 – 26.

55. Современные технологии комплексного освоения подземного пространства мегаполисов: научное издание / В.И. Теличенко, М.Г. Зерцалов, Д.С. Конюхов, К.Ю. Королевская, А.А. Король. – М.: Изд-во «АСВ», 2010. – 322 с.

56. Завриев К.С. Расчет фундаментов мостов глубокого заложения / К.С. Завриев, Г.С. Шпиро. – М.:Транспорт, 1970. – 214 с.

57. Будівельні матеріали. Крупні заповнювачі природні, із відходів промисловості, штучні для будівельних матеріалів, виробів, конструкцій та робіт. Класифікація: ДСТУ Б.В.2.7-74-98. – [Чинний від 1999-01-01]. –

К.:Держспоживстандарт України, 1999. – 16 с. – (Національний стандарт України).

58. Румшинский Л.З. Математическая обработка результатов эксперимента / Румшинский Л.З. – М.: Наука, 1971. – 192 с.

59. Справочник по вероятностным расчетам. – М.: Воениздат, 1970. – 536 с.

60. Современные технологии комплексного освоения подземного пространства мегаполисов: научное издание / В.И. Теличенко, М.Г. Зерцалов, Д.С. Конюхов, К.Ю. Королевская, А.А. Король. – М.: Изд-во «АСВ», 2010. – 322 с.

61. Директива Ради Європейського Союзу 98/83/ЄС «Про якість води, призначеної для споживання людиною» від 3 листопада 1998 року, (ст.ст. 1,7).- 1998 Електронний ресурс].

Режим доступу: http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/994_963

62. ДСТУ 7525:2014 «Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості». Видання офіційне. – К., 2014. - 25 с.

63. Національна доповідь про якість питної води та стан питного водопостачання в Україні у 2019 році. Міністерство розвитку громад та територій України– К., 2020. - 353 с.

Режим доступу: https://www.minregion.gov.ua/wp-content/uploads/2020/12/naczionalna-dopovid-za-2019-rik.pdf

64. Мацієвська О.О. Шляхи забезпечення населення Львівської області якісною питною водою // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури, 2011, №42. – С.145–148.

65. Філонова К.В., Міськевич С.В. ПРОБЛЕМА ЯКОСТІ ПИТНОЇ ВОДИ В УКРАЇНІ. Міжнародна науково-практична конференція “Перший Всеукраїнський з’їзд екологів” Збірник тез доповідей. 4-7 жовтня 2006 р. Вінниця.

66. Нетужилова Н. В. Особливості реструктуризації та перепланування промислових будівель і споруд у містах Західної України (на прикладі м. Львова) // Сучасні проблеми архітектури та містобудування. - 2011. – Вип. 27. – С. 250-256.

67. Є.П. Воскобійник. Обстеження існуючих промислових об’єктів з метою реконструкції під торговельно-офісні будівлі // Комунальне господарство міст. – 2017. – Вип. 139. – С. 178-182.

68. Гладишев Д. Г., Гладишев Г. М. Нове конструктивне рішення метало-бетонної консолі колони // Modern science and practice: abstracts of XV

International scientific and practical conference, Varna, Bulgaria, 4-5 May, 2020. – C. 142–145.

69. Бабич Є.М., Андрійчук О.В Проектування та виготовлення безнапірних труб із сталефібробетону: Рекомендації. – Рівне: НУВГП, 2012. – с.31.

70. Дворкін Л.Й., Бабич Є.М., Житковський В.В.,Бордюженко О.М., Кочкарьов Д.В., Філіпчук С.В., Ковалик І.В., Ковальчук Т.В., Скрипник М.М. В53 Високоміцні швидкотверднучі бетони та фібробетони: монографія. – Рівне : НУВГП, 2017. – 331 с.

71. Дороги з бетону в Україні: міфи та реальність : веб-сайт. URL: http://www. mashyna.com.ua/auto/article/12092 (дата звернення: 1.09.2018).

72. Навіщо в Україні будувати бетонні дороги. : веб-сайт. URL: http://www. mashyna.com.ua/auto/article/11161 (дата звернення: 1.09.2018).

73. Шульмейстер В., Пилипчук Я. "Ні" цементним дорогам? Дзеркало тижня випуск №4 3-9 лютого.: веб-сайт. URL: https://dt.ua/business/ni-cementnim-dorogam-268106_.html (дата звернення: 1.09.2018).

74. Рабинович Ф.Н. Композиты на основе дисперсно армированих бетонов. Вопросы теории и проектирования, технология, конструкции: Монография – М.: Издательство АВС, 2004. – 560с.

75. Steel fibre reinforced industrial floor design in accordance with the Concrete Society Technical Report (TR34). Bekaert. – Belgia. – 2000. – 44p.

76. Steel fibre in airport runways//”Concrete”, 1972.-6, №8.-P.34-35

77. Клюєв С.В. Високоміцний фібробетон для промислового та цивільного будівництва // Журнал цивільного будівництва. – 2012. – №8 – С.61-66.

78. DafStb-Richtlinie Vorstand №414: “Verstärken von Betonbauteilen mit geklebter Bewehrung”,Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Tiergarten, Berlin, Deutschland, November 2009, 144 page.

79. Талантова К. В. Эксплуатационные характеристики сталефибробетонных конструкций для дорожного строительства / К.В. Талантова [и др.] // Бетон и железобетон. – 2002. – № 3. – С. 6–8.

80. Фибробетон. Технологии будущого на службе настоящего/ Федеральный строительный рынок. – Вып.74. – Санкт-Петербург, 2009.

81. EN 14845-1, 2004 Test methods for fibres in concrete – Part 1: Reference concretes

82. EN 14845-2, 2006 Test methods for fibres in concrete - Part 2: Effect on concrete

83. EN 14889-1:2007 Fiber for concrete - PART 1: Stel fibers - Definitions, Specification and conformity.

84. EN 14889-2:2006 Fibres for concrete. - PART 2. Polymer fibres. Definitions, specifications and conformity.

85. Fiber concrete technology .Brugg Contec AG Aachstr. 11 CH-8590 Romanshorn 2010. – 22 page.

86. Гуйван Є.Ф., Харипончук В.В., Зятюк Ю.Ю. Високоефективні матеріали в будівництві автомобільних доріг і аеродромів/ Ю.Ю Зятюк та ін. //Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Зб. наук. праць. – Рівне: НУВГП, 2017. – Вип. 34. – С. 24 – 32.

87. Коверніченко Л.М. Заповнювачі для бетону і взаємодія їх з водою/Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві. Випуск 8, Луцьк, 2017. -С.103-110.

88. Kovernichenko L, Shishkin A. Regulation of the influence of the structure of inorganic binders on their properaties//Technology audit and production reserves.2018.№3/1(41).

89. Коверніченко Л.М. Нові будівельні матеріали.Инновационная наука, образование, производство и транспорт//Монография, книга 3, часть1, Одесса 2020,с.68-74.

90. Kovernichenko L.M. Cement-polymer binders. “SWorld Journal”. International periodic scientific journal / Issue №7, Part 2.March 2021, p.27-32. (Болгарія).

91. Шишкін О.О. Спеціальні бетони для підсилення будівельних конструкцій, що експлуатуються в умовах дії агресивних середовищ. Навчальний посібник для студентів ВНЗ - Кривий Ріг: “Мінерал”, 2001. - 113 с.

92. Штарк Иохен, Вихт Бернд. Долговечность бетона / Пер. с нем. - А. Тулаганова. Под ред. П. Кривенко, Техн. ред. Е. Кавалеровой. Киев: Оранта, 2004. - 301 с.

93. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты / В.М. Москвин, Ф.М. Иванов, С.Н. Алексеев, Е.А. Гузеев; под общ. ред. В.М. Мсквина. - М.: Стройиздат, 1980. - 536 с.

94. Долговечность бетонных и железобетонных изделий и конструкций. Учебное пособие для студентов ВУЗов / В.Н. Пунагин, А.П. Приходько, Н.В. Савицкий. - Киев: УМК ВО, 1988. - 112 с.

95. Шишкін О.О., Хільченко О.П.Технологія бетону: Підручник для студентів вищих навчальних закладів.-Кривий Ріг: <<Видавничий дім >>, 2007 – 376 с.

96. Смоляр И.М. Экологические основы архитектурного проектирования / И.М. Смоляр, Е.М. Микулина, Н.Г. Благовидова. – М. : Академия, 2010. – 157 с.

97. Воронин А. А. Принципы формирования озелененных пространств в жилых многоэтажных зданиях [Текст]: автореф. дис. ... канд. арх. / А. А. Воронин. – Москва, 2012. – 28 с.

98. Воскресенский И. Н. Гармония и экология: пути интеграции / И. Н. Воскресенский. – Ландшафтная архитектура. Дизайн. – 2004. – № 3. – С. 66–74.

99. Забелина Е. В. Поиск новых форм в ландшафтной архитектуре : учеб. пособие / Е. В. Забелина. – Москва: Архитектура–С, 2005. – 160 с.

100. Afanasieva I. M. (1979). Petrochemical Peculiarities of the flysh formation of the southern slope of the Soviet Carpathians. K.: Naukova dumka. 244 p.

101. Gabinet M.P. (1985). Postsedimentary transformations of the flysch. K.: Naukova dumka, 1985. 148 p.

102. Geodynamics of the Carpathians. (1985) [S. S. Kruhlov, S. E. Smirnov, Geology and mineral resources of the Ukrainian Carpathians]. (1977). Ч. 2. [M.P. Gabinet, J.A. Kulchytskyi, O.I. Matkovskyi end others], eds. A. Kulchytskyi and A.I. Matkovskyi. Lviv: Vyshcha shkola. 2020 p.

103. Geology and minerals of the Ukrainian Carpathians. (1976). Ч. 1. [M.P. Gabinet, J.A. Kulchytskyi, O.I. Matkovskyi et al]; ed. by J.A. Kulchytskyi and A.I. Matkovskyi. Lviv: Vyshcha shkola. 2000 p.

104. Hurzhyi D.V. (1981). Some peculiarities of the Carpathian flysch. Geological journal. № 3. P. 49-57.

105. Lozyniak P. Yu., Petrashkevych M. I. (2007). Basic principles and scheme of tectonic zoning of the Ukrainian Carpathians. Proceedings of sciences. -Shevchenko National Academy of Sciences of Ukraine. Vol. 19. Lviv. P. 50-62.

106. Spitkovska S.P. and others]. K.: Naukova dumka. 136 p.

107. Stupka O. (2013) Tectonic zoning of the Ukrainian Carpathians: current state, problems. Geology and geochemistry of combustible fossils. № 3-4 (164-165). P. 83-107.

108. Tertiary extension development and extension/compression interplay in the West Carpathian mountain belt / M. Nemcok, J. Hok // Tectonophysics. – 1998. – Vol. 290. – P. 137–167.

109. Vyalov A. S. (1989). Issues of the Carpathian tectonics and adjacent troughs geology of the Soviet Carpathians: Collection of scientific works. K.: Naukova dumka. P. 11-21.

110. Zamorii P. K. (1961). Quaternary sediments of Ukraine. Moscow: Publishing house of KPU. 551 p.

111. Zastavnyi F. D. (1994). Geography of Ukraine. Vol. 1. Lviv: Svit. 472 p.

112. Starokadomsky D. Long life of Epoxy. // Nauka i Zhizn (Science & Life, in Russian), 2018. V.1, pp. 66-71. https://www.nkj.ru/archive/1030/32960/

113. Lipatov Yu. Physico-chemistry of filled polymers. Kiev, Naukova Dumka, 1991, 100 p.

114. I.Ohrymenko. Thermo-chem-resistant polymers, Leningrad, 1976, 33 p (in Russian).

115. Gorshunov O.V. Thermohysical properties of modified epoxy-polymers (Teplofizicheskie svojstva modif. epoxidnyh polymerov). Ph.D.Dissertation (N 01.04.14, phys-mat.sci., sci.curator – Sichkar T.G.), Kiev. 2006. 150 p. [in Russian].

116. A. Mostovoy, A. Bekeshev, L. Tastanova, M. Akhmetova, P. Bredihin and Y. Kadykova. The effect of dispersed filler on mechanical and physicochemical properties of polymer composites // Polymers and Polymer Composites 1–8: sagepub.com/journals-permissions. DOI: 10.1177/0967391120929040 journals.sagepub.com/home/ppc

117. A.S. Mostovoy, A.V. Yakovlev. Effect of Additions of Electrochemically Oxidized Graphite on the Physicochemical and Mechanical Properties of Modified Epoxy Composites.// Russian Journal of Applied Chemistry, 2019, Vol. 92, No. 10, pp. 1439−1446. DOI: 10.1134/S1070427219100148

118. Starokadomsky D, Reshetnyk M.(2019) Microfilled Epoxy-composites, capable of thermo-hardening and thermo-plasticization after hard heating (200-300 oC) - for “in-field\offroad” use in bio-,agro-, medservice // Biomedical J. of Scientific & Technical Research – V.19, iss.1, - pp. 14118-14123.

DOI: 10.26717/BJSTR.2019.19.003257

119. Starokadomsky D.(2017) Epoxy Composites with 10 and 50 wt % Micronanoiron: Strength, Microstructure, and Chemical and Thermal Resistance //Russian Journal of Applied Chemistry. 2017, Vol. 90, No. 8, pp. 1304−1312.

120. D. Rassokhin, D. Starokadomsky, A. Ischenko, O. Tkachenko, M. Reshetnyk, L. Kokhtych. Determining the strength and thermal-, chemical resistance of the Epoxy polymer-composite filled with Basalt micronano fiber in the amount of 15–80 % by weight. // Eastern European J. of Advanced Technologies. 2020 No.1/12 (104). P. 55-63.

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.200491 (Scopus-impact 1,9)

121. D.Starokadomsky, M. Reshetnyk, D. Rassokhin. Epoxy composites with 5 wt.% of njanodispersed magnetites and ferroxides. Strength, heat resistance, morphology. // J. Material & Environmental Sciences. 2020. No.11(8). P. 1241-1249 - jmaterenvironsci.com/Document/vol11/vol11_N8/JMES-2020-11109-Staromsky.pdf

122. D.L. Starokadomsky, D.A. Rassokhin, A.A. Ishchenko, M.N. Influence of gypsum filling on strength, thermal and chemical resistance of epoxy composites.

Eastern European J. of Advanced Technologies. 2020. V 5, Is. 12 (107). https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.214399

123. N.V. Sigareva, V.A. Barbash, O.V. Yashchenko, S.V. Shulga, D.L. Starokadomsky, B.M. Gorelov. Influence of cellulose particles on chemical resistance, mechanical and thermal properties of epoxy composites. Biophysical Bulletin. 2020. №43. P.57-70.

124. D.L. Starokadomsky, A. A. Ishenko. Epoxy Composites Filled with Gypsum (Alabaster G-5): A Possible Way to Strengthen, Stabilize, and Structure. // In book "Composite Materials for Industry, Electronics, and the Environment. Research and Applications. Redactors: Omari V. Mukbaniani, Devrim Balköse, Heru Susanto, A. K. Haghi, - NewYork , Apple Academic Press, 5., 2019, 350 p – Chapter 2. pp.25 (43.

125. Epoxy filled with bare and oxidized multi-layered graphene nanoplatelets: a comparative study of filler loading impact on thermal properties / O.Polovina, B.Gorelov, A.Gorb, A.Nadtochiy, D.Starokadomsky, V.Kuryliuk,N.Sigareva // Journal of Materials Science. – 2019 - 54 (https://doi.org/10.1007/s10853-019-03523), p.1-20.

126. D.L. Starokadomsky. Opportunities to create fire-resistant, heat-hardened and thermoplastic at 250°C epoxy-composite plastics with microdispersions of SiC, TiN and cement // Plastich. Massy, №5-6, 2019, p.40-43.

DOI: 10.35164/0554-2901-2019-5-6-40-43

127. D. Starokadomsky, N. Sigareva, V. Mischanchuk, I. Garashenko, O. Tkachenko. Analyse of behaviors "concentration of silica A300 – properties of epoxy-polymer" // Plasticheskie Massy, 2013, .42-47 (ISSN: 0544-2901)

128. D.L. Starokadomsky. About influence of non-modified nanosilica on physico-chemical properties of epoxy-polymer composites. Russian J.Applied Chem..-2008 – V.12, p. 2045.

129. D.L. Starokadomsky. Influence of highly dispersed pyrogenic silicas on the processes of photopolymerization of oligoetheracrylates and properties of the obtained composites. Ph.D.Dissertation for Phys.-Chem.of Surfaces.(sci.curator – Dr.of Chem., acad. A.A.Chuiko) – Ukraina, Kyiv, Chuyko Institute for Surface Chemistry, Nat.Acad.of Sci.Ukr.: 200 p.).

130. D.Starokadomsky. On Strengthening of Epoxy-Composites by Filling with Microdispersions of SiC, TiN, and Cement. // Chapter 4 in book "Composite Materials Engineering Modeling and Technology" - Editors: A.V.Vakhrushev, A.K.Haghi. – Apple Academic Press, NewYork, 2019. - pp. 49-60.

131. Danchenko Yu. Epoxy composition with low inflammation. Patent Ukraine 116504 C08L 63/02, C09D 163/02, C09D 5/08, C09K 21/14. № a 201613006; subm. 20.12.2016; publ. 26.03.2018. Bull. № 6. 4 p.

132. Danchenko Yu. M., Popov Yu. V., Sopov V. P. Thermooxidative and thermomechanical stability epoxy polymer composites of construction. International Conference on Thermal Analysis and Calorimetry in Russia (RTAC-2016): proceeding (St. Petersburg, 16-23 September 2016). St. Petersburg, 2016. Vol. 1, pp. 702-706.

133. Development of Epoxy-Polyester Composite with Improved Thermophysical Properties for Restoration of Details of Sea and River Transport./A. Buketov, M. Brailo, S. Yakushchenko , and A. Sapronova//Advances in Materials Science and Engineering . Volume 2018, P.6-12.

https://doi.org/10.1155/2018/6378782

134. Climatic resistance of epoxy polymers in a temperate continental climate: monograph / T.A. Nizin, V.P. Selyaev, D.R. Lowland. - Saransk: Publishing house of Mordovs. University, 2020 .- 188 p. ISBN 978-5-7103-4081-3

135. Anti-corrosion and fire-retardant properties of epoxy-silica and epoxy-titanium oxide composite coatings (2000-2017) / comp: L.A. Gnibeda consultant: V.M. Mikhalchuk; editor: V.A. Krotova. - Donetsk: DonNU, 2018 .- 24 p.

136. Li M., Tang C., Zhang L., Qi S. A thermally conductive epoxy polymer composites with hybrid fillers of copper nanowires and reduced graphene oxide. J Mater Sci: Mater Electron 28, 15694–15700 (2017). https://doi.org/10.1007/s10854-017-7459-4

137. Z. Oguz, A. Erklig, Ö. Effects of Hydrothermal Seawater Aging on the Mechanical Properties and Water Absorption of Glass/Aramid/Epoxy Hybrid Composites. // Intern. Polymer Processing XXXVI (2021) 1 p.79-93 DOI 10.1515/ipp-2020-3963

138. J.M. Prabhudass, K. Palanikumar, Experimental investigation of Mechanical and Thermal properties of Coir-Kenaf reinforced epoxy composites,// Materials Today: Proceedings, Volume 44, Part 5, 2021, p.3834-3837, https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.12.338.

139. Trus I., Radovenchyk I., Halysh V., Skiba M., Vasylenko I., Vorobyova V., Hlushko O., Sirenko L. 2019. Innovative Approach in Creation of Integrated Technology of Desalination of Mineralized Water. Journal of Ecological Engineering, 20, 8, 107–113.

140. Radovenchyk I., Trus I., Halysh V., Krysenko T.,Chuprinov E., Ivanchenko A. 2021. Evaluation of Optimal Conditions for the Application of Capillary Materials for the Purpose of Water Deironing. Ecol. Eng. Environ. Technol. 2, 1–7.

141. Trus I., Gomelya N., Halysh V., Radovenchyk I., Stepova O., Levytska O. 2020. Technology of the comprehensive desalination of wastewater from mines. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. №3/6 (105), P.21–27.

142. Трус І.М., Радовенчик Я.В., Галиш В.В., Гомеля М.Д., Мігранова В.О. Оцінка ефективності нанофільтраційного знесолення води // Матеріали X

Міжнародної науково-практичної конференції «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем», 28-30квітня 2020 р., м. Чернігів. –Т.2. – С. 120–123.

143. Trus I., Halysh V., Radovenchyk I., Fleisher H. 2020. Conditioning of iron-containing solutions. Journal of Chemical Technology and Metallurgy. 55(2), 486–491.

144. Trus I., Halysh V., Gomelya M., Benatov D., Ivanchenko A. Techno-Economic Feasibility for Water Purification from Copper Ions. Ecol. Eng. Environ. Technol. 2021; 22(3):27–34..

145. Трус І.М., Радовенчик Я.В., Галиш В.В., Флейшер Г.Ю. Очищення стічних вод від йонів важких металів // XX Наукова молодіжна конференція «Проблеми та досягнення сучасної хімії», 27-28 вересня 2018р., м.Одеса. – С.91.

146. Радовенчик Я.В., Трус І.М., Галиш В.В. Видалення важких металів із стічних вод // V Міжнародний конгрес «Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування», 26-29 вересня 2018р., м.Львів. – С.141.

147. Радовенчик Я.В., Трус І.М., Галиш В.В., Сіренко Л.В., Мігранова В.О. Методи знезалізнення природних і стічних вод // Зб. lоп. XV Міжнародної науково-практичної конференції «Ресурсоенергозберігаючі технології та обладнання», 28-29 листопада 2018р., м.Київ. – С.167–168.

148. Трус І.М., Галиш В.В., Радовенчик Я.В., Гомеля М.Д., Сіренко Л.В. Знезалізнення вод при використанні мембранних методів // IV Міжнародна науково-практична конференція «Мембранні процеси та обладнання в харчових технологіях та інженерії», 23-25 жовтня 2018р., м.Київ. – С.31.

149. Трус І.М., Галиш В.В., Радовенчик Я.В., Скиба М.І. Нові високоефективні методи демінералізації води від полютантів // Збірник матеріалів V Всеукраїнської наукової конференції «Наукова Україна», 27–28 травня 2019 р., м. Дніпропетровськ. – С. 430-433.

150. Fleysher A., Trus I., Gomelya M., Tokarchuk V. 2014. Utilization of the residues obtained during the process of chemical purification of water as cement hardening accelerators. American Journal of Scientific and Educational Research. 1, 4, P. 542-546.

151. Trus I., Radovenchyk Y. 2019. Engineering of low-waste technology of natural and wastewaters demineralization. Scientific Letters of Academic Society of Michal Baludansky. 7, 6B, P.118–120.

152. Трус І.М., Флейшер Г.Ю., Гомеля М.Д., Токарчук В.В. 2014. Переробка осадів, що утворюються при реагентному очищенні шахтних вод від сульфатів. Вісник КрНУ. 4, С. 169-174.

153. Sviderskyi V., Tokarchuk V., Fleisher H., Trus I. 2018. The Influence of Surfactants on the Physical Properties of Clinkers. Chemistry & Chemical Technology. 12, 4, 500-504.

154. Halysh V., Sevastyanova O., Riazanova A. V., Pasalskiy B., Budnyak T., Lindström M. E., Kartel M. Walnut shells as a potential low-cost lignocellulosic sorbent for dyes and metal ions. Cellulose, 2018, 25(8), 4729-4742.

155. Halysh V., Sevastyanova O., De Morais D., Riazanova A., Lindström M.E., Gomelya M. Effect of oxidative treatment on composition and properties of sorbents prepared from sugarcane residues. Industrial Crops and Products, 2019, 139(1), 111566.

156. Kartel, M., Galysh, V. New composite sorbents for caesium and strontium ions sorption. Chemistry Journal of Moldova. 2017, 12(1), 37-44.

157. Galysh V., Sevastyanova O., Kartel M., Lindström M., Gornikov Yu. Impact of ferrocyanide salts on the thermo-oxidative degradation of lignocellulosic sorbents, Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 2017, 128(2), 1019-1025.

158. Halysh, V., Trembus, I., Deykun, I., Ostapenko, A., Nikolaichuk, A., Ilnitska, G.: Development of effective technique for the disposal of the Prunus Armeniaca seed shells. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2018, 1, 4-9.

159. Halysh V., Sevastyanova O., Pikus S., Dobele G., Pasalskiy B., Gun'koV.M., Kartel M. Sugarcane bagasse and straw as low-cost lignocellulosic sorbents for the removal of dyes and metal ions from water. Cellulose. 2020, 27 (14), 8181-8197.

160. Галиш В., Пасальський Б., Севастьянова О. Високоефективні сорбенти з продуктів переробки сільськогосподарської сировини. Товари і ринки, 2017, 1, 80–89.

161. Галиш В., Чикун Н., Пасальський Б. Сорбційні властивості шкаралупи кісточок абрикоса. Товари і ринки, 2018, 2, 46-56.

162. Галиш В.В., Соколовська Н.В., Ніколайчук А.А., Трембус І.В. Сорбційні властивості органосольвентного лігніну щодо метиленового синього. Вісник НТУУ" КПІ імені Ігоря Сікорського". Серія: Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження. 2020, 2, 47-58.

163. Halysh V.V., Skiba M.I. Chemical composition and sorption properties of lignocellulosic complexes of fruit seed shells and walnut shells. Voprosy Khimii i Khimicheskoi Tekhnologii, 2021, 1, 16–23.

164. Ковальчук А., Почечун Т., Галиш В., Трус І. 2018. Фосфорилювання шкаралуп волоських горіхів для підвищення ефективності очищення водних розчинів. Технічні науки та технології. 2, 12, С. 236-244.

165. Білявський С.А., Сарахман Р.Б., Галиш В.В., Трус І.М. 2018. Оптимізація технології одержання сорбентів з відходів рослинного походження. Екологічні науки. 21, 212-217.

166. Ковальчук А.І., Почечун Т.П., Галиш В.В., Трус І.М. Спосіб одержання рослинних сорбентів / Патент 134509 Україна Опубл. 27.05.2019, Бюл. № 10.

167. Halysh V.V., Trus I.M., Radovenchyk I.V., Melnychenko E.V., Fleisher H.U. Modification of vegetal wastes to increase the efficiency of water solution purification // V Міжнародний конгрес «Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування», 26-29 вересня 2018р., м.Львів. – С.117.

168. Радовенчик Я.В., Трус І.М., Галиш В.В., Мігранова В.О. Перспективи застосування сорбентів з природної сировини для очищення води від іонів важких металів // Збірник доповідей VIII Всеукраїнської науково-практичної конференції «Ефективні процеси та обладнання хімічних виробництв та пакувальної техніки», 13-14 грудня 2018р., м.Київ. – С.30.

169. Kovalchuk A., Pochechun T., Halysh V., Trus I., Radovenchyk I., Gomelya M. Influence of fractional composition on sorption capacity of walnut shells // Шляхи розвитку науки в сучасних кризових умовах: тези доп. І міжнародної науково-практичної інтернет-конференції, 28-29 травня 2020 р. – Дніпро, 2020. – Т.1. – С. 468–471.

170. Гасин Б.С., Галиш В.В., Трус І.М., Гомеля М.Д. Математична обробка та оптимізація процесу фосфорилювання лігноцелюлозних сорбентів // Матеріали VI Міжнародної науково-технічної конференції «Компютерне моделювання та оптимізація складних систем», м. Дніпро, 4–6 листопада 2020 р. – С. 74-77.

171. Halysh V., Trus I., Vozovych A., Horianoi V. Approach in wastewater treatment // The XXVI International Science Conference «Topical issues of practice and science», May 18 – 21, 2021, London, Great Britain. С. 691–693.

172. Halysh V., Trus I., Gomelya M., Trembus I., Pasalskiy B., Chykun N., Trokhymenko G., Remeshevska I. 2020. Utilization of Modified Biosorbents Based on Walnut Shells in the Processes of Wastewater Treatment from Heavy Metal Ion. J. Ecol. Eng. 21(4), 128–133.

173. Halysh V., Trus I., Nikolaichuk A., Skiba M., Radovenchyk I., Deykun I., Vorobyova V., Vasylenko I., Sirenko L. 2020. Spent Biosorbents as Additives in Cement Production. Journal of Ecological Engineering. 21, 2, 131–138.

174. В.В. Галиш, М.І. Скиба, І.М. Трус, Я.В. Радовенчик. Гідроліз рослинних відходів для підвищення поглинальної здатності біосорбентів // Збірка тез XX Міжнародної науково-практичної конференції «Екологія. Людина. Суспільство», 23 травня 2019 р., м. Київ. – С. 41.

175. Трус І. М., Галиш В. В., Радовенчик Я. В., Гомеля М. Д., Воробйова В. І., Сіренко Л. В., Сенькова К. С. Утилізація біосорбентів в складі будівельних матеріалів // The 4th International scientific and practical conference “Science, society, education: topical issues and development prospects”, 16-17 березня 2020 р., м. Харків. – С. 191–195.

176. Радовенчик Я.В., Трус І.М., Галиш В.В., Бєлов І.В., Радовенчик В.М. Дослідження процесів зневоднення скопу целюлозно-паперового виробництва // Матеріали X Міжнародної науково-практичної конференції «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем», 28 - 30квітня 2020 р. м. Чернігів. – 2020. –Т.2. – С. 124–127.

177. Gomelya M., Trus I., Galysh V., Krysenko T., Senkova K. Utilization of lignocellulosic and cellulosic biosorbents in composition of building materials // Матеріали V Міжнародної науково-практичної конференції "Концептуальні шляхи розвитку науки" м. Київ, 14-15 травня 2020 року. – С. 36–38.

178. Radovenchyk I., Trus I., Halysh V., Radovenchyk V., Mihranova V. Waste utilization in Ukraine // Шляхи розвитку науки в сучасних кризових умовах: тези доп. І міжнародної науково-практичної інтернет-конференції, 28-29 травня 2020 р. – м. Дніпро. – Т.2. – С. 239–242.

179. Trus I., Radovenchyk I., Sirenko L., Halysh V., Gomelya M., Mihranova V. Utilization of biosorbents in composition of building materials // Шляхи розвитку науки в сучасних кризових умовах: тези доп. І міжнародної науково-практичної інтернет-конференції, 28-29 травня 2020 р. – м. Дніпро. – Т.2. – С. 450–453.

180. Галиш В.В., Трус І.М., Гомеля М.Д. Ефективна утилізація відпрацьованих біосорбентів // Збірка тез XXI Міжнародної науково-практичної конференції «Екологія. Людина. Суспільство», 21–22 травня 2020 р., м. Київ. – С.215–218.

181. Trus I., Halysh V., Gomelya M. , Vozna I., Ivanenko O., Krysenko T. Effective solution of the problem of utilization of plant waste in the interest of ecology // The 7th International scientific and practical conference “Science, society, education: topical issues and development prospects”, 7-9 червня 2020 р., м. Харків. – С. 285–291.

182. Жаров А.А, С.И. кислорода железа в окисления примесей. вузов: металлургия, 1975, №11, с. 8-14.

183. Филиппов С.И. металлургических процессов. М., , 1967,с.150.

184. Тимощенко Н.Е. керамического насоса в буферных газов. , 1981, т.17, вып.10, с.1437-1443.

185. Чижиков Д.М., В.П. и теллуриды. М., Наука, 1966, с.120.

186. Тимощенка Н.Е. О поправках к формулам насоса на твердым электролите, №12, 1975г., стр.1816-1820.

187. Пинхусович Р.Л., Ю.Н. пулонометрического концентраций в газах 1973,№1, стр.36-43

188. Тимощенко Н.Е. О.Г. – характеристика керамического кислородного , 1975 г., стр.65-70

189. Тимощенко Н.Е. О возможности кислорода в инертного газа с твердого кислородионнного электролита.1974, №4, стр.527-535.

190. Тимощенко Н.Е. Характеристики керамического насоса в присутствии газов 1981г, 1437-1443.

191. Рахымбеков А.Ж. Тимощенко Н.Е. Метод кинетики окисления с твердых ионных проводников. 1986г. Стр.1869-1870

192. Kyivska K., Tsiutsiura S., Tsiutsiura M., Kryvoruchko O., Yerukaiev A., V. Hots (2020) A study of the concept of parametric modeling of construction objects. International Journal of Advanced Research in Engineering and Technology (IJARET).Volume 10, Issue 2, PP. 636-646.

193. Kyivska K., Tsiutsiura S. (2021) Implementation of artificial intelligence in the construction industry and analysis of existing technologies // Technology audit and production reserves, No2/2(58), PP.12-16.

194. Tsiutsiura S., Kyivska K., Tsiutsiura M., Kryvoruchko O., Dmytrychenko A. (2019) Formation of a generalized information model of a construction object, International Journal of Mechanical Engineering & Technology (IJMET), Vol. 10, Issue 02, PP.69–79.

195. Kyivska K., Tsiutsiura M., Tsiutsiura S., Terentyev A. (2020) Components of information modeling of building objects. Innovative development of science and education. Abstracts of the 1-st International scientific and practical conference “Innovative development of science and education” (March 29-31, 2020) ISGT Publishing House, Athens, Greece, 2020. PP. 138-142.

196. Terentyev, O., Bohdan, M. (2015) The Method of Prediction of Deformations of Buildings and FIlure Analysis the Examination of Technical Condition of Buildings. International Journal of Science and Research, 4 (8), PP. 280–282.

197. Kyivska K., Tsiutsiura M., Tsiutsiura S., Terentyev A. (2020) Methodology for building project portfolio, Eurasian scientific congress. Abstracts of the 2-nd International scientific and practical conference “Eurasian scientific congress” (February 24-25, 2020) Barca Academy Publishing, Barcelona, Spain. PP. 147-151.

198. Mikhailenko, V., Terentiev, O., Shabala, Ye., Kyivska, K., Horbatiuk, Ye. (2017) Modeli, metody ta informatsiina tekhnolohiia diahnostyky tekhnichnoho stanu budivelnykh konstruktsii i sporud. Kyiv, P. 161.

199. Honcharenko T., Mihaylenko V., Tsiutsiura S., Kyivska K., Balina O., Bezklubenko I. (2020) Information Simulation of Life Cycle of Building Territory at

Master Planning Based on BIM-model. International Journal of Emerging Trends in Engineering Research, 8(10), October 2020, PP. 7337-7343.

200. Zaykov V.P., Kinshova L.A., Moiseev V.F. Prediction of reliability indicators, thermoelectric cooling devices. Book 1. One–stage devices. Odessa: Polytehperiodika. 2009. 120 p.

201. Zaikov V.P., Mescheryakov V.I., Zhuravlev Yu.I. Determination of the time to reach a stationary mode of operation, taking in to account the heat capacity and the mass of the structural and technological elements of a single-stage TEC. East European Journal of Advanced Technology. 2018. № 1. P. 12–24.

202. Задача о многоруком бандите - сравниваем эпсилон-жадную стратегию и Томпсоновское сэмплирование. [Електронийресурс] – Режим доступу: https://habr.com/ru/post/425619/

203. When to Run Bandit Tests Instead of A/B/n Tests. [Електроний ресурс] – Режим доступу: https://cxl.com/blog/bandit-tests/

204. Multi-ArmedBandit (MAB) – A/B TestingSansRegret.[Електроний ресурс] – Режим доступу: https://vwo.com/blog/multi-armed-bandit-algorithm/

205. Solving multiarmed bandits: A comparison of epsilon-greedy and Thompson sampling. [Електроний ресурс] – Режим доступу:https://towardsdatascience.com/solving-multiarmed-bandits-a-comparison-of-epsilon-greedy-and-thompson-sampling-d97167ca9a50

206. О.Г. Міхно, І.М. Патракеєв Прикладні геоінформаційні системи: начальний посібник К. 2020, 98 с. – Режим доступу:https://geo.knu.ua/images/doc_file/navch_lit/ GIS_Michno_Patrakeev.pdf (електронний ресурс)

207. A GIS-based multicriteria spatial decision support system for planning urban infrastructures. Decision Support Systems, 51(3), P. 720-726.

208. Chang, Kang-Tsung .2013. Introduction to Geographic Information Systems, New York: McGraw-Hill. Coutinho-Rodrigues, J., Simão, A., & Antunes, C.H. 2015, 216 p.

209. Curtin, Kevin M. 2007. Network analysis in geographic information science: Review, assessment, and projections. Cartography and Geographic Information Science 34.2 (2007): P. 103-111

210. Крючковский В.В. Введение в нормативную теорию принятия решений. Методы и модели:монография / В.В. Крючковский, Э.Г. Петров, Н. А. Соколова, В.Е. Ходаков; под ред. Э. Г. Петрова.- Херсон: Гринь Д.С., 2013. -284 с.

211. Петров Е.Г. Методи і засоби прийняття рішень у соціально-економічних системах: Навч. Посібник. / Е. Г. Петров, М. В. Новожилова, І. В. Гребеннік – Харків: ХДТУБА, 2002.– 284 с.

212. Бескоровайный В. В. Идентификация аддитивных моделей многокритериального выбора решений / В. В. Бескоровайный // Радиоэлектроника и информатика. – 1998. – №3. (С. 53–56.

213. Овезгельдыев А. О. Синтез и идентификация моделей многофакторного оценивания и оптимизации / А. О. Овезгельдыев, Э. Г. Петров, К. Э. Петров – К.: Наукова думка, 2002. – 164 с.

214. Беллман Р. Принятие решений в расплывчатых условиях / Р. Беллман, Л. Заде // Вопросы анализа и процедуры принятия решений. – М.: Мир, 1976. – С. 172–215.

215. Себер Дж. Линейный регрессионный аналіз/ Дж.Себер - М.: Мир, 1980.- 496с.

216. Островерхов М.Я., Сільвестров А.М., Кривобока Г.І., Ідентифікація електротехнічних об’єктів керування/ М. Я. Островерхов, А. М. Сільвестров, Г. І. Кривобока ; Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 353 с.

217. Тихонов А.Н. Методы решения некорректных задач/ А.Н.Тихонов, В.Я. Арсенин – М.: Наука, 1979.-286с.

218. Сильвестров А.Н. Идентификация и оптимизация автоматических систем/А.Н.Сильвестров, П.И.Чинаев.-М.:Энергоатомиздат,1987.-200с.

219. Ивахненко А.Г. Долгосрочное прогнозирование и управление сложными системами / А.Г.Ивахненко.-К.: Техника,1975.-450с.

220. Takens F. Detecting strange attractors in turbulence / F. Takens, D. A. Rand, L.-S. Young // Dynamical Systems and Turbulence, Lecture Notes in Mathematics, Springer-Verlag, 1981. – vol. 898. – pp. 366–381.

221. Hausdorf F. Dimesion und Ausseres Mass / F. Hausdorf // Matematishe Annalen. – 1919. – 79. – pp. 157–179.

222. Федер Е. Фракталы / Е. Федер. – М.: Мир, 1991. – 262 с.

223. Кроновер Р. Фракталы и хаос в динамических системах / Р. Кроновер. – М.: Постмаркет, 2000. – 352 с.

224. Безручко Б.П. Математическое моделирование и хаотические временные ряды / Б.П. Безручко, Д.А. Смирнов. – Саратов: ГосУНЦ «Колледж», 2005. – 320 с.

225. Мун Ф. Хаотические колебания. Вводный курс для научных работников и инженеров: Пер. с англ. / Ф. Мун. – М.: Мир, 1990. – 312 с.

226. Дубовиков М.М. Размерность минимального покрытия и локальный анализ фрактальных временных рядов / М.М. Дубовиков, А.В. Крянев, Н.В. Старченко // Вестник РУДН, 2004. – Т3. – №1. – С. 81–95.

227. Малинецкий Г.Г. Нелинейная динамика. Подходы, результаты, надежды / Г.Г. Малинецкий, А.В. Потапов, А.В. Подлазов. – М.: Комкнига, 2006. – 216 с.

228. Антонова И.В. Применение методов фрактального анализа к исследованию временных рядов / И.В. Антонова , Н.А. Чикина // Вестник НТУ «ХПИ». Серия : Информатика и моделирование. – Харьков : НТУ «ХПИ», 2015. – № 32 (1141). – С. 4–10.

229. Figliola A. About the effectiveness of different methods for the estimation of the multifractal spectrum of natural series / A. Figliola, E. Serrano, G. Paccosi // International Journal of Bifurcation and Chaos. – 2010. – Vol. 20 (2). – P. 331–339.

230. Delignieres D. Fractal dynamics of human gait: a reassessment of the 1996 data of Hausdorff et al. / D. Delignieres, K. Torre // Journal of Applied Physiology. – 2009. – 106. – pp. 1272–1279.

231. Старченко Н.В. Локальный анализ хаотических временных рядов с помощью индекса фрактальности: автореф. дисс. на соискание ученой степени канд. физ.-мат. наук / Н.В. Старченко. – Москва, 2005. – 22 с.

232. Рабинер Л. Скрытые марковские модели и их применение в избранных приложениях: Обзор / Л. Рабинер // Труды института инженеров по электротехнике и радиоэлектронике. – Москва: Мир, 1989. – Т.77. – №2. – С. 86–120.

233. Volger C. Parallel hidden Markov models for American Sign Language recognition / C. Volger , D. Metaxas // Proc. 7th International Conference on Computer Vision. – 1999. – pp. 116 – 122.

234. Гультяева Т.А. Классификация последовательностей с использованием скрытых марковских моделей в условиях неточного задания их структуры / Т.А. Гультяева , А.А. Попов // Вестник ТГУ. Управление, вычислительная техника и информатика. – Томск : Изд-во ТГУ, 2013. – № 3 (24). – С. 57–63.

235. Bhar R. Hidden Markov Models. Applications to financial economic / R. Bhar , S. Hamori. – New-York : Springer, 2004. – 178 p.

236. Соколов Е.В. Модели прогнозирования цен акций с применением функций Уолша и марковских цепей / Е.В. Соколов , Д.В. Бородин // Прикладная информатика. – 2010. – № 5 (29). – С. 3–12.

237. Тулупьев А.Л. Байесовские сети, логико-вероятностный подход / А.Л. Тулупьев, С.И. Николенко , А.В. Сироткин – СПб. : Наука, 2006. – 728 с.

238. Langseth H. Bayesian networks in reliability / H. Langseth , L. Portinale // Reliability Engineeringand System Safety. – 2007. – vol. 92. – No. 1. – pp. 92 – 108.

239. Чикина Н.А. Прогнозирование временных рядов методом скрытых Марковских моделей / Н.А. Чикина, И.В. Антонова // Вісник НТУ «ХПІ». Серія:

Математичне моделювання в техніці та технологіях. – 2019. – № 22 (1347) . – С. 122–128.

240. Савельєв, А., Запара, Д., Новіченко, С., Деменко, М., Доска, О., Третяк, В., & Власов, А. (2021). Структура інформаційно-розрахункової системи підтримки прийняття рішення «АРГУМЕНТ – 2021». InterConf, (49), 631-642. https://doi.org/10.51582/interconf.7-8.04.2021.069

241. 123. EU – More Microgrids – Advanced Architectures and Control Concepts for More Microgrids – European Research Project.

242. S. Denysiuk, O. Romanchenko. Energy processes management in Microgrid based on assessment of losses level from uneven electricity consumption. The XXIV International Science Conference «About the problems of practice, science and ways to solve them», May 04 – 07, 2021, Milan, Italy. 386 p.

243. S.V. Narayevsky. Cost analysis for traditional energy facilities. JEL Classification: D61; L94, p. 46-57.

244. V.M. Sineglazov. Prospects for the development of hybrid energy systems. ENERGO-Sources. URL: https://enerhodzherela.com.ua/analityka/.

245. S. Denysiuk, O. Romanchenko. Impact of dynamic tariffication application on electricity generation and consumption graphs in Microgrid. The 10th International scientific and practical conference «The world of science and innovation», May 5-7, 2021, London, United Kingdom. 2021. 835 p.

246. 7 factors affecting on diesel generator fuel consumption. FOGO.ua. URL: https://fogo.ua/ru/stati/7-faktorov-vlijajushhih-na-rashod-topliva-dizel-generatora/.

247. V.P. Soldatenko. Automatic control of generator active power of renewable energy sources in the combined power system. − Qualifying scientific work on the rights of the manuscript. Kropyvnytskyi – 2019. URL: http://www.kntu.kr.ua/doc/K_23_073_02/dis_Soldatenko.pdf.

248. How is the fuel consumption of a diesel generator calculated? Joint-stock company "LONMADI". URL: https://www.jcbgenerators.ru/tekhnicheskaya-biblioteka/kak-schitaetsya-raskhod-topliva-dizelnogo-generatora.html.

249. V.E. Tonkal, A.V. Novoseltsev, S.P. Denysiuk. «Energy balance in electrical circuits». Scientific Opinion, Kyiv, 310 p. 1992.

250. A. I. Lebedev, Physics of semiconductor devices. Moscow: Fizmatlit, 2008, 488 p.

251. V. V. Pasynkov, and L. K. Chirkin, Semiconductor Devices. Moscow: Vysshaya shkola, 1987, 479 p.

252. V. L. Aronov, and Ya. A. Fedotov, Testing and research of semiconductor devices. Training manual for specialties of semiconductor technology at universities. Moscow: Vysshaya shkola, 1975, 326 p.

253. V. G. Gusev, and Yu. M. Gusev, Electronics. Moscow: Vysshaya shkola, 1991, 622 p.

254. A. S. Glinchenko, N. M. Yegorov, V. A. Komarov, and A. V. Sarafanov, Investigation of parameters and characteristics of semiconductor devices using Internet technologies. Moscow: DMK press. Elektronnyye knigi, 2013, 351 p.

255. O. V. Statsenko, and Ye. L. Shylin, "Inverter of the automated system for determining the characteristics of semiconductor devices," Electronics and control systems, no. 2(56), pp. 92-98, 2018.

256. V. I. Meleshin, Transistor Conversion Technology. Moscow: Tekhnosfera, 2006, 632 p.

257. S. G. German-Galkin, Computer modeling of semiconductor systems in Matlab 6.0: Proc. allowance. Saint Petersburg: KORONA print, 2001, 320 p.

258. V. Shakhnov, O. Berezin, A. Skripko, and V. Kostikov, Design of power supplies for electronic equipment. Moscow: Knorus Prospekt, 2013, 532 p.

259. A. V. Vasil'kov, Power sources. Moscow: Forum, 2015, 400 p.

260. V. V. Podgornyy, Sources of secondary power supply. Moscow: Goryachaya liniya-Telekom, 2013,150 p.

261. A. P. Kashkarov, Pulsed power sources. Circuit design and repair. Moscow: DMK Press, 2014, 184 p.

262. A. Shadeyko, "Universal test benches for testing secondary power sources and voltage converters," Silovaya elektronika, no. 2, pp. 84–85, 2012.

263. O. V. Statsenko and D.S. Nedashkivsky, "Adjustable load for automatic testing of DC power supply," Electronics and Control Systems, no. 4(58), pp. 101-108, 2018.

264. E. N. Haytenko, Sources of secondary electricity supply. Scheme and calculation. Moscow: SOLON-PRESS, 2008, 448 p.

265. IEC 62040-3:2.0. Unterruptible power systems (UPS) – Method of specifying the performance and test requirements. International Electrotechnical Committee, 2011, 220 p.

266. Energy Conservation Program: Test Procedure for Uninterruptible Power Supplies. DEPARTMENT OF ENERGY, Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, 2016, 61 p. Web address: https://www.energy.gov/sites/prod/files/2016/04/f31/Uninterruptible%20Power%20Supply%20Test%20Procedure%20NOPR_0.pdf

267. O. V. Statsenko, "Regenerative electronic load for uninterruptible power source testing," Electronics and Control Systems, Vol. 4, No 62, pp. 83-89, 2019.

268. Бурлак Г.М., Вилинская Л.Н. Влияние перекиси водорода на интенсивность люминесценции полупроводниковых пленок // Сенсорна електроніка і мікросистемні технології. -2008, -№4, - С. 53-56.

269. Войнович И.Д., Лебедева. Т.С., Шпилевой П.Б., Беднов Н.В. Покрытия из нанопористого анодного оксида алюминия для сенсорных применений / И.Д.Войнович, Т.С.Лебедева., П.Б.Шпилевой и др.// Наносистеми, наноматеріали, нанотехнології. 2014, Т.12, №1, С. 169-180.

270. Танабе К. Твердые кислоты и основания. М.:Мир. 1973, 176 с.

271. Burlak G.M., Vilinskaya L.N. Luminescence properties of oxide films aluminum and tantalum in contact with an electrolyte // Photoelectronics. -2012. -№21. -P.65-68.

272. G.M.Burlak, L.N.Vilinskaya. Luminescence of nanostructures on the basis of aluminum metal-oxide films // International meeting CLUSTERS AND NANOSTRUCTURE MATERIALS (CNM-3) Uzhhorod, Ukraine, 14-17 October 2012, p.196.

273. World Health Organization. The aging of the population creates problems for health care. URL : http://www.who.int/bulletin/volumes/90/2/12-020212/en/.

274. Геєць В.М. Населення України. Імперативи демографічного старіння. / В.М. Геєць. — К. : БД "АДЕФ-Україна". 2017. — 278 с.

275. Григоров Ю. Г., Козловская С. Г. Питание и феномен долголетия. Киев : Знання, 1988. 48 с.

276. Смолянський Б. Л., Абрамова Ж. И. Справочник по лечебному питанию для диет-сестер и поваров. Л. : Медицина, 1984. 304 с.

277. Amarantos E., Martinez A., Dwyer J. Nutrition and quality of life in older adults Journals of Gerontology: series A. 2001. Vol. 56A (Special Issue II). P. 54—64.

278. Food and Nutrition Communication. World Market. URL : http://www.nestle.com/asset-library/Documents/Library/Documents/Nutrition_Health_Wellness /Food-and-Nutrition-Apr2006.pdf.

279. Притульська Н.В., Антюшко Д.П., Мотузка Ю.М. Сучасний стан і тенденції розвитку ринку продуктів для нутрітивної підтримки людини. Міжнар. наук.-практ. журн. "Харчова наука і технології". 2012. №4 (21). С. 106—108.

280. Guiroz Y. Recommended dietary allowances (RDA) for elderly. Paris, 2008. 143 p.

281. Morley J. E., Thomas D. R. Geriatric nutrition. N. Y : CRC Press, 2007. 590 p.

282. Nutrition for older persons. World Health Organization programs. URL : http://www.who.int/nutrition/topics/ageing/en/index1.html (дата звернення 12.10.2016).

283. Возрастная гастроэнтерология: в 3 т. ; под общ. ред. Л. Б. Лазебника, П. Л. Щербакова. М. : Анахарсис, ПиАрМедиа Групп. 2009. 280 с.

284. Самсонов М. А., Мещерякова В. А. Питание людей пожилого возраста. М. : Медицина, 1979. 80 с.

285. Притульська Н.В., Карпенко П.О., Антюшко Д.П., Гавалко Ю.В. Суміш для ентерального харчування геродієтичного призначення: пат. 116754 Україна: МПК A23L 33/19б A61K 31/00. Заяв. 14.09.2016, опубл. 12.06.2017. Бюл. № 11.

286. Концентраты пищевые. Правила приёмки, отбора и подготовки проб. ГОСТ 15113.0-97. Минск : Изд-во стандартов. 1998. 6 с.

287. Продукты молочные для детского питания. Метод определения общего белка. ГОСТ 30648.2-99. М. : ИПК Изд-во стандартов. 1999. 15 с.

288. Концентраты пищевые. Методы определения жира. ГОСТ 15113.9-77. М : ИПК Изд-во стандартов. 2001. 9 с.

289. Общие технологии пищевых производств ; под ред Л.П. Ковальской. М. : Агропромиздат. 1991. 335 с.

290. Schroeder D., Gillanders L., Mahr K. Effects of immediate postoperative enteral nutrition on body composition, muscle function and wound healing. Journal of parenteral and enteral nutrition. 1991. Vol. 15, № 4. P. 376—383.

291. Притульська Н., Антюшко Д. Критерії розробки харчових продуктів геродієтичного призначення. Міжнар. наук.-практ. журн. "Товари і ринки". 2016. №2. С. 83—92.

292. James R., Benson Ph. Instruction manual single-column amino acid analysis. California, USA : Durrum Chemical Corporation Printed. 1976. 35 p.

293. Козаренко Т.Д., Зуев С.Н., Муляр Н.Ф. Ионообменная хроматография аминокислот (Теоретические основы и практика). Новосибирск : Наука. Сиб. отд-ние. 1981. 160 с.

294. ESPEN Recommendations: Enteral and Parenteral Support in Adult. Luxembourg: Grand Duchy of Luxembourg, 2000. 78 p.

295. Dietary protein quality evaluation in human nutrition: report of an FAO Expert Consultation (1985). URL : http://www.fao.org/ag/humannutrition/35978-02317b979a686a57aa4593304ffc17f06.pdf

296. Рогов И.А. Антипова Л.В., Дунченко Н.И. Химия пищи. М. : КолосС. 2007. 853 с.

297. Толстогузов В.Б. Новые формы белковой пищи (Технологические проблемы и перспективы производства). М. : Агропромиздат. 1987. 303 с.

298. Water quality – Application of inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS). ISO 17294:2003. URL : https://www.ecn.nl/docs/society/horizontal/hor_desk_19_icp.pdf

299. Water quality – Digestion for the determination of selected elements in water - nitric acid digestion. ISO 15587-2. URL : http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=31355

300. Method EPA 6020A — SW-846 for the Analysis of Soils and Sediments by ICP-MS. URL : http://www.epa.gov/osw/hazard/testmethods/sw846/pdfs/6020a.pdf

301. De Wiel H. J. Mineral elements in medical practice. London : Horizontal. 2003. 47 p.

302. Diet, nutrition and the prevention of chronic disease : Report of a Joint WHO/FAO Expert Consultation. Geneva : World Health Organization (WHO). 2003. 148 p.

303. Levy E., P. Frileux, S. Sandrucci et al. Enteral nutrition during the early adaptive stage of the short bowel syndrome. British Journal of Surgery. 1988. V. 75. №7. P. 49-53.

304. Энтеральное питание в интенсивной медицине: показания и противопоказания, методика, доступы и техническое оснащение, варианты и режимы применения, осложнения и их профилактика. URL : http://www.kemsma.ru/counter/ar011.pdf

305. O'Sullivan, J.; Murray, B.; Flynn, C.; Norton, I. The Effect of Ultrasound Treatment on the Structural, Physical and Emulsifying Properties of Animal and Vegetable Proteins. Food Hydrocoll. 2016, (53), pp 141–154.

306. Самченко, О.Н. Бобовые Культуры: Перспективы Использования для Оптимизации Химического Состава Мясных Полуфабрикатов. Наука и Современность 2014, с 172-176.

307. Huang, X.; Li, C.; Yang, F.; Xie, L.; Xu, X.; Zhou, Y.; Pan, S. Interactions and Gel Strength of Mixed Myofibrillar with Soy Protein, 7S Globulin and Enzyme-Hydrolyzed Soy Proteins. European Food Research and Technology 2010, 231, pp 751-762.

308. Меренкова, С.П.; Савостина, Т.В. Практические Аспекты Использования Растительных Белковых Добавок в Технологии Мясных Продуктов. Весник ЮУрГУ. Серия «Пищевые Биотехнологии» 2014, 1(2), с 23-29

309. Tahergorabi, R.; Hosseini, S.V. Proteins, Peptides, and Amino Acids. In Nutraceutical and Functional Food Components; Galanakis, C.M., Eds.; Academic Press: London, 2017; pp 15–38.

310. Guo, X.; Sun, X.; Zhang, Y.; Wang, R.; Yan, X. Interactions Between Soy Protein Hydrolyzates and Wheat Proteins in Noodle Making Dough. Food Chemistry 2018, 245, pp 500–507.

311. Niu, H.; Xia, X.; Wang, C.; Kong, B.; Liu, Q. Thermal Stability and Gel Quality of Myofibrillar Protein as Affected by Soy Protein Isolates Subjected to an Acidic pH and Mild Heating. Food Chemistry 2018, 242, pp 188–195.

312. Пасічний, В.М.; Гередчук, А.М. Використання Високодисперсного Кремнезему в Технології М'ясомістких Продуктів Оздоровчого Спрямування. Вестник ХНТУ 2015, 4(55), с 124-129

313. Пасічний, В.М.; Страшинський, І.М.; Фурсік, О.П. Дослідження Емульсій на Основі Білоквмісних Функціональних Харчових Композицій. Технологічний аудит і резерви виробництва 2015, 3, с 51-55.

314. Fursik, O.; Strashynskyi, I.; Pasichnyi, V.; Marinin, A. Nanotechnologies in food industry. Ukrainian Journal of Food Science 2019, 7(2), pp 298-306

315. Fursik O. Gelling properties of composition containing protein. Scientific Trends: Modern Challenges. Volume 1: collective monograph. Sherman Oaks, California: GS Publishing Services, 2021. pp. 15-19

316. Ionescu, A.; Aprodu, I.; Darabă, A.; Gurău, G.; Baciu, C.; Nichita, A. Chemical and Functional Characterization of Chickpea Protein Derivates. In The Annals of the University Dunarea de Jos of Galati, Fascicle VI – Food Technology, New Series Year III (XXXIII). Paper presented at the International Symposium Euro - aliment 2009, 9th - 10th of October 2009; Galati: Romania, 2009; pp 16-27.

317. Raikos, V.; Neacsu, M.; Russell, W.; Duthie, G. Comparative Study of the Functional Properties of Lupin, Green Pea, Fava Bean, Hemp, and Buckwheat Flours as Affected by pH. Food Science & Nutrition 2014, 2(6), pp 802–810.

318. Заїка В. І. Аналіз станції дефекосатурації як динамічної системи із джокером методом графічного тесту / В.І. Заїка, В.Д. Кишенько. – Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2010. – № 6/4 (48). – С. 60 – 64.

319. Grassberger P. Characterization of strange attractors/ P. Grassberger, I. Procaccia. – Phys. Rev. Lett. 50, 1983. – 346 – 349 p.p.

320. F. Takens. Detecting Strange Attractors in Turbulence/ F. Takens. – Lecture Notes in Math. Vol. 898, Springer, New York, 1981.

321. T. Sauer. Embedology / T. Sauer, J. Yorke, M. Casdagli. – J. Stat. Phys. 65, 1991. – 579 p.

322. Nerenberg M.A. Correlation dimension and systematic geometric effects / M.A.Nerenberg, C. Essex. – Phys.Rev. A 42, 1986. – 760 p.

323. Петерс Э. Хаос и порядок на рынках капитала / Э. Петерс. – М.: Мир, 2000. – 305 с.

324. Малинецкий Г., Потапов А., Современные проблемы нелинейной динамики / Г. Малинецкий, А. Потапов. – М.: Эдиториал УРСС, 2000. – 328 с.

325. Никульчев Е.В. Технология автоматизированного расчета параметров регулирования технологическими процессами/ Е.В. Никульчев. – Промышленные АСУ и контроллеры. – 2001. – №11.– С. 23 – 26.

326. Волович М.Е. Программные средства и алгоритмы идентификации и исследования динамических систем по временным рядам / М.Е. Волович. – Информационные технологии в науке и образовании: Материалы 2-ой Межд. науч.–практ. конференции. – Шахты: ЮРГУЭС. – 2001. – С. 44 – 46.

327. Захаров В.С. Поиск детерминизма в наблюдаемых геолого-геофизических данных: анализ корреляционной размерности временных рядов / В.С. Захаров // Современные процессы геологии. – Сборник научных трудов.– М.: Научный мир. – 2002. – С. 184 – 187.

328. EAEU and Eurasia: Monitoring and Analysis of Direct Investments / A.V. Kuznetsov, Y.D. Kvashnin, A. A. Nevskaya, A. S. Chetverikova; project coord. T.V.Tsukarev. Report № 34. St. Petersburg: EDB Centre for Integration Studies, 2015, 66 p.

329. Охтилев М.Ю. Интеллектуальные технологии мониторинга и управления структурной динамикой сложных технических объектов // Охтилев М.Ю., Соколов Б.В., Юсупов Р.М. - М. : Наука, 2006. - 410 с.

330. Ковардаков А.В. Разработка методов построения и реализация аналитической информационной системы технологического мониторинга сложных промышленных объектов: автореф. Дис. … канд. Техн. Наук : 05.13.01 / Ковардаков Андрей Викторович. – М, 2007. – 239 с.

331. Рыжов А.П. Информационный мониторинг сложных процессов: технологические и математические основы / Рыжов А.П. // Интеллектуальные системы. – 2008. -Том 11, вып. 1-4. - С. 101-136.

332. Зігунов О.М. Аналітичні задачі підсистеми технологічного моніторингу дифузійного відділення цукрового заводу / О.М.Зігунов, В.Д. Кишенько // Цукор України. – 2012. - № 6 – 7 (78-79). – С. 32-37.

333. Dry beverages ripe for flavor innovation, added functionality. URL: https://www.foodbusinessnews.net/articles/16835-dry-beverages-ripe-for-flavor-innovation-added-functionality (accessed 12.06.2021)

334. Sebastián, O.-C., Carlos Ariel, C. A., Carlos Eduardo, O. A. Prebiotics in Beverages: From Health Impact to Preservation. Preservatives and Preservation Approaches in Beverages, 2019. P. 339–373.

335. do Carmo C. S., Costa L., Serra A. T., Knutsen S. H., Sahlstrøm S., Bronze M.R. Chapter 4 - Alternative protein sources. Food Technology Disruptions, 2021. P. 131–174.

336. Zhang M.T., Jo Y., Lopetcharat K., Drake M.A. Comparison of a central location test versus a home usage test for consumer perception of ready-to-mix protein beverages. Journal of Dairy Science. 2020. Vol. 103, No 4. P. 3107–3124.

337. Egerton S., Culloty S., Whooley J., Stanton C., Paul Ross R. Characterization of protein hydrolysates from blue whiting (Micromesistius poutassou) and their application in beverage fortification, Food Chemistry, 2018. Vol. 245. P. 698–706.

338. Polyvanov Y., Karpenko S., Sytnyk K., Kondratiuk N. New types of specialized drinks based on microalgae. Topical issues of practice and science : The XXVI International Science Conference, May 18 – 21, 2021, London, Great Britain, 2021. P. 668–670.

339. Kondratiuk N. V., Polyvanov Ye. A., Sytnyk K. I., Karpenko S. O. New promising solutions in functional beverages technology. World science: problems, prospects and innovations. Proceedings of the 9th International scientific and practical conference. Perfect Publishing. Toronto, Canada, 2021. P. 69-71.

340. Kondratiuk N. V., Polyvanov Y. A., Karpenko S. O., Sytnyk K. I. New types of drinks-shots for the beauty industry. Scientific Community: Interdisciplinary Research : The 4th International Scientific and Practical Conference, May 18 – 19, 2021, Hamburg, Germany, 2021. P. 595–599.

341. Благотворительный фонд поддержки научных исследований «Наука за продление жизни». Материалы Фонда. Научные тренды продления жизни. Обзор исследований в области биологии старения. 2010. URL: https://scienceagainstaging.com/materials (дата обращения: 24.10.2020).

342. Collagen type XIV (Col 14) - Коллаген 14 типа. URL: http://xn--80aabqbqbnift4db.xn--p1ai/antigen-item/collagen-type-xiv-col14/ (дата обращения: 24.10.2020).

343. Питьевой коллаген: что это такое. URL: https://bhub.com.ua/pitevoj-kollagen-chto-eto-takoe-polza-i-lichnyj-opyt/ (дата обращения: 30.10.2020).

344. Питьевой коллаген: действие, применение, результат. URL: http://lmlnews.ru/pitevoj-kollagen(дата обращения: 30.10.2020).

345. S Shoshan, J Gross. Biosynthesis and metabolism of collagen and its role in tissue repair processes. URL: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/4137559/ (дата обращения: 24.02.2021)

346. Кременевская М. И. Научные основы технологий глубокой переработки коллагенсодержащего сырья для получения продуктов с заданными свойствами: дис. ... д-ра техн. наук: 05.18.04. Санкт-Петербург, 2019. 374 с.

347. Главные вопросы о коллагене. URL: https://www.artlife.ru/blog/zdorove/chto-nuzhno-vsem-no-ne-u-kazhdogo-est-v-nuzhnom-kolichestve (дата обращения: 30.11.2020).

348. Lima, Rafaela Batista de. Amaral, Camilla Lais. Minatti, Jaqueline. Коллагеновые пептиды в сочетании с типом II при болях в суставах пожилых людей. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. 2020. Vol. 07. P. 115-127. ISSN: 2448-0959. DOI: ESTE ARTIGO AINDA NÃO POSSUI DOI

349. Зорин В., Зорина А., Петракова О., Черкасов В. Дермальные фибробласты для лечения дефектов кожи. Гены & Клетки. 2009. Т. IV, № 4. С. 26-40.

350. Пептидный бум. Эффект «плацебо» или настоящее лекарство? URL: https://life-instyle.com/zdorovie/76-peptidi 2.html(дата обращения: 24.11.2020).

351. Важность коллагена для организма человека. URL: https://tricollagen.by/index.php?route=revolution/revblog_blog&revblog_category_id=2&revblog_id=6(дата обращения: 29.01.2021).

352. Bilek S. E., Bayram S. K. Fruit juice drink production containing hydrolyzed collagen. Journal of Functional Foods. 2015.Vol. 14.P. 562-569. ISSN 1756-4646, DOI: https://doi.org/10.1016/j.jiff.2015.02.024. URL: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1756464615000869(дата обращения: 29.01.2021).

353. Новикова И., Антипова Л., Романюк Т., Бовва О., Кудряшов М. Разработка технологии напитков типа «Шорли» с коллагеном. Вестник ВГУИТ. 2020. Т. 82.,No 3. С. 50–57.DOI:https://doi.org/10.20914/2310-1202-2020-3-50-57

354. Сборник технологических инструкций по производству консервов. Консервы фруктовые. Т. 2. Москва, 1992. 360с.

355. Флауменбаум Б.Л., Танчев С.С., Гришин М.А. Основы консервирования пищевых продуктов: учеб. пособ. М.: Агропромиздат 1986. 496 с.

356. Флауменбаум Б.Л. Технология консервирования плодов, овощей, мяса и рыбы: учеб. М.: Колос, 1993. 320 с.

357. Бабарин В.П., Мазохина-Поршнякова Н.Н., Рогачев В.И. Справочник по стерилизации консервов. М.: Агропромиздат, 1987. С. 320.

358. Фан-Юнг А.Ф. Технология консервирования плодов, овощей, мяса и рыбы: учеб. М.: Пищевая пром-сть, 1980. 336 с.

359. Технология консервирования плодов и овощей и контроль качества продукции: учеб. / Загибалов А.Ф., Зверькова А.С., Титова А.А., Флауменбаум Б.Л. М.: Агропромиздат, 1992. 352 с.

360. Hrek, O.V., Skorchenko, T.A. (2012). Tekhnolohiia kombinovanykh produktiv na molochnii osnovi: Pidruchnyk. K.: NUKhT.

361. Terek, V.I. (2000). Molochne kozivnytstvo – vyhidna haluz tvarynnytstva. Zh. Silskyi hospodar, 5-6, 15-16.

362. Hachak, Yu., Gutyj, B., Bilyk, O., Nagovska, V., Mykhaylytska, O. (2018). Effect of the cryopowder «Amaranth» on the technology of molten cheese. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 1/11(91), 10-15. doi: 10.15587/1729-4061.2018.120879.

363. Hachak, Yu., Gutyj, B., Bilyk, O., Nagovska, V., Mykhaylytska, O. (2018). Investigation of the «Amaranth» cryoadditive on organoleptic and microbiological parameter of processed cheeses. Eureka: Life Sciences, 1(13), 18-24.

364. Hachak, Y., Mykhaylytska, O., Kozlovets, M. (2020). Using of cryopowders in the production of cheese masses. Dynamics of the development of world science. Abstracts of the 5th International scientific and practical conference. Perfect Publishing. Vancouver, Canada, 104-112.

365. F. Bellisle, A.T. Dip-lock, G. Hornstra // British J. Nutrition. (1998) Bellisle F. Functional Food Science in Europe, Vol. 80, p. 187-193.

366. Duxbury D.D. (1991) Dietary Fiber. Food process (USA) / Nutrition and Food Science, Vol. 52, № 5, p. 136-138.

367. Roberfroid M.B. (2002) Globalview on functional foods: European perspectives // British J. Nutrition, Vol. 88, p. 133-138.

368. Наказ МОЗ України від 03.09.2017, №1073 «Про затвердження Норм фізіологічних потреб населення України в основних харчових речовинах і енергії» (2017).

369. Нутриціологія: навч. посібник/ Н.В. Дуденко [та ін.]; під заг. ред. Н.В. Дуденко. – Х.: Світ Книг, 2013. – 560с.

370. Король В. В., Деркач Н. В., Рибак В. А. (2020) Нутрієнтна корекція захворювань опорно-рухового апарату. // Збірник матеріалів наук.-практ. конф. патофіз, с. 111-112.

371. Електронний ресурс: https://social.lviv.ua/news/suchasni-khvoroby-tsyvilizatsii/ (дата звернення 08.03.2021).

372. Гармашов С. Ю. (2016) Разработка технологии получения биологически активных соединений с хондропротекторными свойствами на основе биодеструкции отходов животного происхождения //Пищевые инновации и биотехнологии, с. 46-47.

373. Електронний ресурс: https://forinsurer.com/news/18/11/12/36391 (дата звернення: 08.03.2021).

374. Оздоровче харчування : навч. посіб. / П.О. Карпенко, Н.В. Притульська, М.Ф. Кравченко та ін. ; за ред. П.О. Карпенко. – Київ : Київ. нац. торг.-екон. ун-т, 2019.- 628 с

375. Y.Henrotin, C.Lambert, D.Couchourel, C.Ripoll, E.Chiotelli (2011) Nutraceuticals: do they represent a new era in the management of osteoarthritis? // A narrative review from the lessons taken with five products, Vol. 19, Issue 1, pp. 1-21. DOI: https://doi.org/10.1016/j.joca.2010.10.017

376. Д. Б. Никитюк, С.В. Клочкова, Е.А. Рожкова, А.Л. Новокошанова (2014) Использование гидролизата коллагена для оптимизации адаптивного потенциала суставного гиалинового хряща при повышенных нагрузках / Вопросы диетологии, т.4, №2, с. 51-54.

377. Fernandez JL, Peres OM. (1998) Effects of gelatine hydrolysates in the prevention of athletic injuries. Archivos de Medecina del Deporte, №15, p.277-282.

378. Химия пищи: в 2 кн.- Кн. 1: Белки: структура, функции, роль в питании/ И.А. Рогов, Л.В., Антипова, Н.И. Дунченко и др. - М.: Колос, 2000. - 384 с.

379. Електронний ресурс. Режим доступу: http://zrenielib.ru/docs/index-13750.html.

380. Воропаев В.М., Ю.Г.Блинов, В.Н.Акулин (1996) Использование отходов рыбообработки в кормопроизводстве // Ресурсосберегающие технологии в аквакультуре: тез. докл./ Краснодар, 1996.– С.11.

381. Фармацевтична енциклопедія. Режим доступу: https://www.pharmencyclopedia.com.ua/article/3607/kolagen

382. Електронний ресурс. Режим доступу: http://zrenielib.ru/docs/index-13750.html-20.

383. Киладзе А.Б. (2004) Рыбные отходы – ценное сырье/А.Б. Киладзе //Рыбное хозяйство, № 3, с.58.

384. Киселев В.И. (2002) Применение коллагена в медицине/В.И. Киселев// Морская индустрия (информационно-аналитический журнал).– №2(15), с.32.

385. Ильина Н.М., Сторублевцев С.А., Гришина А.С., Русаков Д.Д. (2012) Гидролизаты коллагена в технологии производства мясопродуктов / Scientific works of UFT: “Food science, engineering and technologies”, Vol. LIX, с. 985.

386. Чертова А.С., Рузаева Д.Н., Гиро Т.М. (2017) Способы ферментирования коллагеносодержащего сырья // Международный научный журнал «Инновационная наука», №12. с.70-72.

387. Кийкова А.С., Антипова Л.В., Сторублёвцев С.А (2011) Гидролизованный коллаген – аналог Пищевых волокон животного происхождения /Advances in current natural sciences, №7, с. 118-119.

388. Q. Guo, S.W. Cui, Q. Wang, H.D. Goff, A. Smith (2009) Microstructure and rheological properties of psyllium polysaccharide gel // Food Hydrocolloids, Vol. 23, p. 1542–1547.

389. C. Fratelli, D.G. Muniz, F.G. Santos, V.D. Capriles (2018) Modelling the effects of psyllium and water in gluten-free bread: Anapproach to improve the bread quality and glycemic response // Journal of Functional Foods, Vol. 42, p. 339–345. DOI: 10.1016/j.jff.2018.01.015.

390. Применение пищевых волокон из семян подорожника (псиллиум) в гастроэнтерологии и колопроктологии: пособие для врачей / О.В. Головенко, Т.Л. Михайлова, А.О. Головенко; ФГУ «ГНЦ колопроктологии» Минздравсоцразвития России. – М.: 4ТЕ Арт, 2010. – 28 с.: ил. – ISBN 978-5-903274-48-2.

391. Белевская И.В., Тащилин И.С., Бетмерзаева М. Р. (2018) Псиллиум – новое слово в низкоуглеводной безглютеновой выпечке / Качество продукции, технологий и образования: Материалы XIII Международной научно-практической конференции. – Магнитогорск: Изд-во гос.техн.ун-та им. Г.И. Носова, 262 с (с. 164-167).

392. Voderholzer, W.A., et al. (1997) Clinical response to dietary fiber treatment of chronic constipation. Am J Gastroenterol, №92(1), p. 95-8.

393. Marlett, J.A., T.M. Kajs, and M.H. Fischer (2000) An unfermented gel component of psyllium seed husk promotes laxation as a lubricant in humans. Am J Clin Nutr, №72(3), p. 784-9.

394. Fernandez, M.L., et al. (1995) Psyllium reduces plasma LDL in guinea pigs by altering hepatic cholesterol homeostasis. J Lipid Res, №36(5), p. 1128-38.

395. Topping, D.L. and P.M. Clifton, (2001) Short-chain fatty acids and human colonic function: roles of resistant starch and nonstarch polysaccharides. Physiol Rev, №81(3), p. 1031-64.

396. Vos, A.P., et al. (2007) Immune-modulatory effects and potential working mechanisms of orally applied nondigestible carbohydrates. Crit Rev Immunol, 27(2): p. 97-140.

397. Тетерина Л. и др. (2010) Пищевое волокно псиллиум при хронических заболеваниях печени и печеночной энцефалопатии //Врач, №. 9, с. 29-32.

398. Нєміріч, О. В.. І. М. Устименко (2020) Збитий кисломолочно-рослинний десерт з насінням чіа // Інноваційні технології в готельно-ресторанному бізнесі : матеріали IX Всеукраїнської науково-практичної конференції, 19–20 травня 2020 р. – Київ: НУХТ, 2020. – С. 274.

399. Клюкина О. Н.; Никитина Т. А.; Птичкина Н. М. (2016) Влияние пектина и пищевых волокон на потребительские свойства диетического молочного десерта.-// Электрон. дан. Вестник Воронежского государственного аграрного университета, №3(50): 204-210.

400. Ключникова Д.В. (2015) Функциональный творожный продукт // Международный научно-исследовательский журнал, ч. 2, №3 (34), с.73-74.

401. Коновалов С.А., Евина М.В. (2019) Функциональный молочный десерт на творожной основе / [Электронный ресурс] : материалы Всеросс. (национальной) науч.-практич. конф., посвящ. 100-летию со дня рождения С. И. Леонтьева (27 февраля 2019 года) / Ом. гос. аграр. ун-т. – Электрон. дан. – ОМСК : ФГБОУ ВО Омский ГАУ, с.535-539.

402. Кравчук Н.М., Посна Н.С. (2017) Розроблення технології десерту функціонального спрямування // Міжнародний науковий журнал «Інтернаука», т. 1, №17 (39), с. 61-65.

403. Химический состав российских пищевых продуктов. Под редакцией член-корр. МАИ, проф. И. М. Скурихина и академика РАМН, проф. В. А. Тутельяна. - Москва, 2002.

404. Химический состав пищевых продуктов: Справочные таблицы содержание основных пищевых веществ и энергетической ценности пищевых продуктов. Кн. I: / Под ред. И. М. Скурихина и М. Н. Волгарева. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Агропромиздат, 1987. - 224 с.;

405. Химический состав пищевых продуктов: Справочные таблицы содержания аминокислот, жирных кислот, витаминов, микро- и макроэлементов, органических кислот и углеводов. Кн. II: / Под ред. И. М. Скурихина и М. Н. Волгарева. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Агропромиздат, 1987. - 360с.;

406. Химический состав пищевых продуктов под ред. А.А. Покровского, М: Пищевая промышленность. - 1976 год. – 228 с.

407. Ахмедов О. Р. Биологически активные соединения на основе модифицированной ксантановой камеди [Електронний ресурс] / О.Р. Ахмедов, Х.А. Сохибназарова, Ш.А. Шомуротов // Химия растительного сырья. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: https://cyberleninka.ru/article/n/biologicheski-aktivnye-soedineniya-na-osnove-modifitsirovannoy-ksantanovoy-kamedi

408. Лекарь А. В. Процессы самоассоциации молекул глицирризиновой кислоты [Електронний ресурс] / А.В.Лекарь, А.А.Милов, С.Н.Борисенко, Е.В.Ветрова, Н.И. Борисенко // Химия и новые материалы. – 2012. – Режим доступу до ресурсу: https://studylib.ru/doc/2333964/processy-samoassociacii-molekul

409. Яковишин Л. А. Молекулярные комплексы тритерпеновых гликозидов с биологически активными веществами: получение, химико-

фармацевтические свойства и биологическая активность : дис. докт. хім. наук : 14.04.02 / Яковишин Л. А. – Севастополь, 2018. – 351 с.

410. Иммунотропные эффекты гиалуроновой кислоты в дерматологии [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://www.martinex.ru/articles/hyaluronic-acid-in-dermatology/

411. Характеристика различных методов получения гиалуроновой кислоты [Електронний ресурс] / [О. В. Савоськин, Е. Ф. Семенова, Е. Ю. Рашевская та ін.] // Научное обозрение. Биологические науки. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: https://science-biology.ru/ru/article/view?id=1060.

412. Wang X. Glycyrrhiza glabra (Licorice): Ethnobotany and Health Benefits / X. Wang, H. Zhang, Y. Wang. // Sustained Energy for Enhanced Human Functions and Activity. – 2017. – PP. 231–250.

413. Cristina F. A history of the therapeutic use of liquorice in Europe / F. Cristina, E. Michael, R. Eugenio. // Journal of Ethnopharmacology. – 2005. – №99. – PP. 317–324.

414. Xiaojin W. Glycyrrhizin Suppresses the Growth of Human NSCLC Cell Line HCC827 by Downregulating HMGB1 Level / W. Xiaojin, W. Weitao, C. Yuanyuan. // Applications of Bioinformatics and Systems Biology in Precision Medicine and Immunooncology. – 2018. – PP. 691–707.

415. Li J. Y. Glycyrrhizic acid in the treatment of liver diseases: literature review [Електронний ресурс] / J. Y. Li, H. Y. Cao, P. Liu // Biomed Res Int. – 2014. – Режим доступу до ресурсу: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24963489/

416. Kowalska A. 18β-Glycyrrhetinic acid: Its core biological properties and dermatological applications / A. Kowalska, U. Kalinowska-Lis. // International Journal of Cosmetic Sciences. – 2019. – №41. – PP. 325–331.

417. Si X. Erythrodermic psoriasis with bullous pemphigoid: Combination treatment with methotrexate and compound glycyrrhizin. / X. Si, L. Ge, H. Xin. // Diagnostic Pathology. – 2014. – №9. – P. 102.

418. Bailly C. Glycyrrhizin: An alternative drug for the treatment of COVID-19 infection and the associated respiratory syndrome? / C. Bailly, G. Vergotenb. // Pharmacology & Therapeutics. – 2020. – №214. – P. 607.

419. Cao Z. Y. Glycyrrhizic acid as an adjunctive treatment for depression through anti-inflammation: A randomized placebo-controlled clinical trial / Z. Y. Cao, Y. Z. Liu, J. M. Li. // Journal of Affective Disorders. – 2020. – №265. – PP. 247–254.

420. Petramfar P. Efficacy of oral administration of licorice as an adjunct therapy on improving the symptoms of patients with Parkinson's disease, A randomized double blinded clinical trial / P. Petramfar, F. Hajari, G. Yousefi. // Journal of Ethnopharmacology. – 2020. – P. 247.

421. Kwon Y.J. A review of the pharmacological efficacy and safety of licorice root from corroborative clinical trial findings / Y.J.Kwon, D.H.Son, T.H.Chung, Y.J.Lee // Journal of Medical Food. – 2020. – PP. 12–20

422. Oksnes Dalheim M. Modification of xanthan in the ordered and disordered states [Електронний ресурс] / M. Oksnes Dalheim, B. E. Christensen, S. Comesse // Recent Trends in Carbohydrate Chemistry. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817467-8.00011-6

423. Fabek H. The effect of in vitro digestive processes on the viscosity of dietary fibres and their influence on glucose diffusion [Електронний ресурс] / H. Fabek, S. Messerschmidt, V. Brulport // Food Hydrocolloids. – 2014. – Режим доступу до ресурсу: https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2013.08.007.

424. Reijden W. Treatment of xerostomia with polymer-based saliva substitutes in patients with Sjögren's syndrome [Електронний ресурс] / W. Reijden, H. Kwaak, A. Vissink // Arthritis&Rheumatology. – 1996. – Режим доступу до ресурсу: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/art.1780390108.

425. Rofes L. The effects of a xanthan gum-based thickener on the swallowing function of patients with dysphagia [Електронний ресурс] / L. Rofes, V. Arreola, R. Mukherjee // Alimentary Pharmacology and Therapeutics. – 2014. – Режим доступу до ресурсу: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/apt.12696.

426. Zurakowski A. R. The effect of xantham gum on satiety status of obese patients after test meal / A. R. Zurakowski, B. Zahorska-Markiewicz, M. Olszanecka-Glinianowicz. // Wiad Lek. – 2005. – №58. – С. 303–306.

427. West N. X. Modification of soft drinks with xanthan gum to minimise erosion: a study in situ / N. X. West, J. A. Hughes, D. Parker. // Br Dent J.. – 2004. – №196. – С. 478–481.

428. Сигаева Н. Н. Химическая модификация гиалуроновой кислоты и ее применение в медицине [Електронний ресурс] / Н. Н. Сигаева, С. В. Колесов, П. В. Назаров // Вестник Башкирск. ун-та. – 2012. – Режим доступу до ресурсу: https://cyberleninka.ru/article/n/himicheskaya-modifikatsiya-gialuronovoy-kisloty-i-ee-primenenie-v-meditsine

429. Simpson R. M. Age-related changes in pericellular hyaluronan organization leads to impaired dermal fibroblast to myofibroblast differentiation [Електронний ресурс] / R. M. Simpson, S. Meran, D. Thomas // Am J Pathol. – 2009. – Режим доступу до ресурсу: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19808648/

430. Kawada C. Ingested hyaluronan moisturizes dry skin [Електронний ресурс] / C. Kawada, T. Yoshida, H. Yoshida // Nutr J .. – 2014. – Режим доступу до ресурсу: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25014997/.

431. Litwiniuk M. Hyaluronic Acid in Inflammation and Tissue Regeneration [Електронний ресурс] / M. Litwiniuk, A. Krejner, M. Speyrer // Wounds. – 2016. – Режим доступу до ресурсу: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26978861/

432. Pirnazar P. Bacteriostatic Effects of Hyaluronic Acid [Електронний ресурс] / P. Pirnazar, L. Wolinsky, S. Nachnani // Journal of Periodontology. – 1999. – Режим доступу до ресурсу: https://doi.org/10.1902/jop.1999.70.4.370.

433. Casale M. Hyaluronic acid: Perspectives in dentistry. A systematic review [Електронний ресурс] / M. Casale, A. Moffa, P. Vella // International Journal of Immunopathology and Pharmacology. – 2016. – Режим доступу до ресурсу: https://doi.org/10.1177/0394632016652906

434. Евдокимова О.В. Основы правильного питания. Влияние пищевых добавок на организм подростка [Електронний ресурс] / О.В. Евдокимова // Молодой ученый. – 2018. – № 5 (191). – С. 91-97. – Режим доступу до ресурсу: https://moluch.ru/archive/191/47784/

435. Dettmar P.W. The key role alginates play in health [Електронний ресурс] / P. W. Dettmar, V. Strugala, J. C. Richardson // Food Hydrocolloids. – 2011. – Режим доступу до ресурсу: https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2009.09.009.

436. Кулинский В.И. Обезвреживание ксенобиотиков [Електронний ресурс] / В.И. Кулинский // Соросовский образовательный журнал. – 1999. – Режим доступу до ресурсу: http://www.pereplet.ru/nauka/Soros/pdf/9901_008.pdf

437. Игнатов С. К. Квантово-химическое моделирование молекулярной структуры, физикохимических свойств и реакционной способности. (Часть 1. Обзор современных методов электронной структуры и теории функционала плотности). Уч.-метод. мат. по программе повышения квалификации «Новые материалы электроники и оптоэлектроники для информационно-телекоммуникационных систем». Нижний Новгород. – 2006. – С. 7 – 9.

438. Kondratjuk N., Pivovarov E., Stepanova T., Toloshnyi D., & Polyvanov Y. (2018). Квантово-хімічне моделювання структур молекулярних комплексів у системі «Уронатні полісахариди – Ca2+». Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Нові рішення у сучасних технологіях, 2(26(1302), 71–77. https://doi.org/10.20998/2413-4295.2018.26.35

439. Кондратюк Н.В. Технологія солодких страв з використанням капсульованих продуктів з пробіотичними мікроорганізмами : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.18.16. – Харків, 2012. – 18 с.

440. Кондратюк Н.В. Системний аналіз у вирішенні питань якості солодких страв із капсульованими пробіотичними мікроорганізмами / Н.В. Кондратюк // Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі: зб. наук. пр. / відпов. ред. О.І. Черевко. - Харків: ХДУХТ, 2015. - Вип.1(21). - С.314-324.

441. Степанова Т. М. Технологія желе плодово-ягідного на основі напівфабрикатів желюючих : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.18.16 / Степанова Тетяна Михайлівна – Харків, 2017. – 17 с.

442. Пивоваров П. П. Перспективи використання цитрусових плодів у складі гелеподібної десертної продукції на основі системи "Альгінат натрію – пробіотичні мікроорганізми" / П. П. Пивоваров, Є. П. Пивоваров, Н. В. Кондратюк, Т. М. Степанова // Наукові праці [Одеської національної академії харчових технологій]. - 2013. - Вип. 44(2). - С. 118-121. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Np_2013_44(2)__28.

443. Kondratiuk N., Stepanova T. & Chernushenko O. (2019). Analysis of innovative technologies of hydrogels from uronate polysaccharides and biodegradable films on their basis. Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Food Technologies, 21(91), 100-103. https://doi.org/10.32718/nvlvet-f9117

444. Кондратюк Н. В. Використання комплексу уронатних полісахаридів у технології харчових глазурей для печива галетного [Електронний ресурс] / Н. В. Кондратюк, Є. А. Поливанов // Scientific journal «ΛΌГОΣ. The art of scientific mind». – 2019. – Режим доступу до ресурсу: https://ojs.ukrlogos.in.ua/index.php/2617-7064/article/view/126/110.

445. Кондратюк Н.В. Використання гелів харчових плівкоутворюючих на основі суміші уронатних полісахаридів у виробництві оболонок для рибних закусок / Н. В. Кондратюк // Вчені записки Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського. Серія : Технічні науки. - 2018. - Т. 29(68), № 1(3). - С. 48-52.

446. Кондратюк Н. В. Перспективи використання амаранту в розсольних системах на основі уронатних поісахаридів [Електронний ресурс] / Н. В. Кондратюк, Т. М. Степанова // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: https://doi.org/10.20998/2220-4784.2018.40.11

447. Археология Украинской ССР. В 3 т. Т.1: Первобытная археология – К.: Наукова думка, – 1985. – 565с.

448. Давня історія України. В 3 т. Т.1: Первісне суспільство – К.: Наукова думка, – 1997. – 558с.

449. Давня історія України. В 2 кн. Кн.1 –К.: Либідь. – 1994. – 235с.

450. История Украинской ССР. В 10 т. Т.1: Первобытно-общинный строй и зарождение классового общества. Киевская Русь (до второй половины XIII в.) – К.: Наукова думка, – 1981. – 495с.

451. Археология СССР. Энеолит. – М.: Наука, – 1982. – 359с.

452. Иванова С.В. Социальная структура населения ямной культуры Северо-Западного Причерноморья. – Одесса: Друк, – 2201. – 243с.

453. Археология Украинской ССР. В 3 т. Т.2: Скифо-сарматская и античная археология. – К.: Наукова думка, – 1986. – 591с.

454. Бейсенов А.З. Курган с «усами» – культурный памятник саков Центрального Казахстана // Материалы III международной конференции – Тирасполь: Приднепровский университет им. Т.Г. Шевченко, – 2002. с.212–216.

455. Банистер Флайт Флетчер. История архитектуры.– М: АСТ – 2012. – 224 с.

456. Эжен Виолле-ле-Дюк. Всемирная история архитектуры. Большая энциклопедия. Архитектура и строительство. – М: АСТ. – 2018. – 256 с.

457. TUU 14333-082 / 001-98 «CONTRAST rust converter» - K., 1998

458. DSTU 4372: 2005 «Rust converter based on wood substance. Technical requirements. ”- K., 2005

459. Patent No. (11) 61544 "Contrast rust converter" Technical description Patent # 61544, DSTU 4372:-K. 2005

460. Corrosion Control Technique: Trans. with gender. / R. Yukhnevich, V. Bogdanovich, E. Valashkovsky et al .; ed. A.M. Tuberculosis. - L .: Chemistry, 1980. - 224 p.

461. Rosenfeld, IL, Protecting metals from corrosion by paint coatings / IL Rosenfeld, FI Rubinstein, KA Zhigalova. - M .: Chemistry, 1987. - 222 p.

462. Petrov LN Corrosion-mechanical fracture of metals and alloys / LN. Petrov. - K .: Sciences. opinion, 1991. - 215 p.

463. VI Savenko, AA Plugin IV Kushchenko, LM Vysotska O.D.Zhuravskiy etc. Providing Corrosion and Functional Stability of Metal-Complexes and Critical Infrastructure Using Innovative High-Tech Eco-Resource Technologies Monograph - Kiev, UAS.KNUCA 2019 -306p

464. Savenko V.I Paltchik S.P.Klyueva V.V. Pobeda S.S.Entropy as a manifestation of the systemic and dialectic essence of a construction organization URSS 36 KNUBA Kyiv Ukraine -2018 -p.142 - 147 Web: http://urss.knuba.edu

465. Savenko Volodymyr “Genetic approach to business perfection and isomorphism of the structure of a construction organization”. Texts of abstracts V. I. Savenko, S. Dotsenko, V. V. Klyuyeva, S. P. Palchyk. 8 International conferences. KNSTPS. ChNTU,Chernigiv -2018. page 101-102

466. Savenko Volodymyr, Dotsenko Sergey, Klyuyeva Victoriya, Palchik Sergey, Tereshcuk Mykola (2018).Optimum methods of management activity in the building organization of the combination type. Management of Development of Complex Systems, 35,-K.-p. 147–164 Web: http://urss.knuba.edu

467. Savenko Volodymyr, Organizational production systems in the light of general organizational science and modern personnel management Text V.I. Savenko, SP Palchik, IS Nesterenko, M.O Tereshchuk.V.V. Klyueva URSS KNUCA 2018 No. 34 –K.-p.161-169 Web: http://urss.knuba.edu.

468. Березюк О. В. Визначення параметрів впливу на шляхи поводження з твердими побутовими відходами / О. В. Березюк // Сучасні технології, матеріали і конструкції у будівництві : Науково-технічний збірник. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2011. –(№ 2 (10). – С. 64-66.

469. Лемешев М. С. Особливості використання промислових техногених відходів в галузі будівельних матеріалів / М. С. Лемешев, К. К. Сівак, М. Ю. Стаднійчук // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – 2020. – № 2.

470. Березюк О. В. Визначення регресійних залежностей витрат на управління твердими побутовими відходами від рівня доходів населення / О. В. Березюк // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2012. – № 5. – С. 24-26.

471. Лемішко К. К. Використання промислових відходів енергетичної та хімічної галузі в технологіїї виготовлення будівельних виробів / Лемішко К. К., Стаднійчук М. Ю., Лемешев М. С. // Матеріали науково-практичної конференції "Енергія. Бізнес. Комфорт", 26 грудня 2018 р. – Одеса : ОНАХТ, 2019. – С. 23-25.

472. Березюк О. В. Динаміка охоплення населених пунктів вінницької області впровадженням роздільного збирання твердих побутових відходів /О. В. Березюк, М. С. Лемешев // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2021. – № 2. – С. 32-36.

473. Очеретний В. П. Використання відходів вапняку та промислових відходів у виробництві сухих будівельних сумішей / В. П. Очеретний, В. П. Ковальський, А. В. Бондар // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – УНІВЕРСУМ- Вінниця. – 2009. – № 6. – С 36-40.

474. Березюк О. В. Динаміка утворення відходів будівництва і знесення у Вінницькій області /О. В. Березюк, М. С. Лемешев // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2021. – № 1. – С. 37-42.

475. Лемішко К. К. Жаростійке в’яжуче з використанням відходів промисловості. / Лемішко К. К., Лемешев М. С. // Наука про цивільний захист як шлях становлення молодих вчених science on civil protection as a way of becoming young scientists, 2019, 154.

476. Березюк, О. В. Регресія площі полігону твердих побутових відходів для видобування звалищного газу / О. В. Березюк, М. С. Лемешев // Мир науки и инноваций. – Иваново: Научный мир, 2015. – № 1 (1). Т. 5. – С. 48-51.

477. Березюк О. В Моделювання динаміки санітарно-бактеріологічного складу твердих побутових відходів під час весняного компостування / О. В. Березюк, М. С. Лемешев, Л. Л. Березюк, І. В. Віштак // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2015. – № 1. – С. 29-33.

478. Сердюк В. Р. Золоцементне в’яжуче для виготовлення ніздрюватих бетонів / В. Р. Сердюк, М. С. Лемешев, О.В. Христич // Сучасні технології

матеріали і конструкції в будівництві. Науково-технічний збірник. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця. – 2011. – №1(10). – С. 57-61.

479. Сердюк В. Р. Проблеми стабільності формування макроструктури ніздрюватих газобетонів безавтоклавного твердіння / В. Р. Сердюк, М. С. Лемешев, О. В. Христич // Будівельні матеріали, вироби та санітарна техніка. - 2011. - №40. - С. 166-170.

480. Сердюк В. Р. Комплексне в'яжуче з використанням мінеральних добавок та відходів виробництва / Сердюк В. Р., Лемешев М. С., Христич О. В. // Будівельні матеріали, вироби та санітарна техніка. Науково-технічний збірник. – 2009. – Вип. 33. – С. 57– 62.

481. Очеретний В.П., Ковальський В.П. Передумови активації золи-винесення відходами глиноземного виробництва // Матеріали VIII міжнародної науково-практичної конференції "Наука і освіта 2005". – Дніпропетровськ: Наука і освіта, 2005. – Том 55. – С. 31-32.

482. Лемешев М. С. Ніздрюваті бетони з використанням промислових відходів / М. С. Лемешев, О. В. Березюк // Перспективные инновации в науке, образовании, производстве и транспорте '2017 : материалы международной научно- практической Интернет-конференции. – Москва : SWorld, 2017.

483. Лемешев М. С. Легкі бетони отримані на основі відходів промисловості / М. С. Лемешев, О. В. Березюк // Сборник научных трудов SWorld. – Иваново: МАРКОВА АД, 2015. – № 1 (38). Том 13. Искусствоведение, архитектура и строительство. – С. 111-114.

484. Ковальський В.П. Обґрунтування доцільності використання золошламового в'яжучого для приготування сухих будівельних сумішей / В. П. Ковальський, В. П. Очеретний, М. С. Лемешев, А. В. Бондар. // Рівне: Видавництво НУВГіП, 2013. – Випуск 26. – С. 186 -193.

485. Ковальський В.П. Застосування червоного бокситового шламу у виробництві будівельних матеріалів // Вісник Донбаської державної академії будівництва і архітектури. – 2005. – № 1 (49). – С. 55-60.

486. Лемешев М. С. Ресурсозберігаюча технологія виробництва будівельних матеріалів з використанням техногенниг відходів / М.С. Лемешев, О.В. Христич, С. Ю Зузяк // Сучасні технології, матеріали і конструкції у будівництві. – 2018. – № 1. – С. 18-23.

487. Сердюк В.Р. Об'ємна гідрофобізація важких бетонів / В.Р. Сердюк, М.С. Лемешев // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – 2009. – № 2. – С. 40-43.

488. Лемешев М.С. Будівельні матеріали для захисту від електромагнітного випромінювання / М. С. Лемешев, О. В. Березюк // Вісник Сумського національного аграрного університету. – 2014. – Вип. 10 (18). – С. 57–62.

489. Сердюк В.Р. Радіозахисні покриття варіатропної структури із бетелум / В.Р. Сердюк, М.С. Лемешев // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – 2008. – № 5. – С. 37-40.

490. Лемешев М. С. Антистатичні покриття із електропровідного бетону / М. С. Лемешев, О. В. Березюк // Сучасні технології, матеріали і конструкції у будівництві. – 2017. – № 2. – С. 26-30.

491. Сердюк В. Р. Формування структури анодних заземлювачів з бетелум для систем катодного захисту / В. Р. Сердюк, М. С. Лемешев, О.В. Христич // Науково-технічний збірник. Будівельні матеріали, вироби та санітарна техніка, 2010, Випуск 35. – С. 99-104.

492. Лемешев М. С. Екологічно ефективні будівельні матеріали для тепломодернізації будівель / М. С. Лемешев, О. В. Христич, К. К. Лемішко // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – 2019. – № 2.

493. Сердюк В.Р. Технологічні особливості формування металонасичених бетонів для виготовлення радіозахисних екранів / В.Р. Сердюк, М.С. Лемешев, О.В. Христич // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – 2007. – № 4. – С. 58-65.

494. Христич О.В. Формування мікроструктури бетонів для захисту від іонізувального випромінювання / О.В. Христич, М. С. Лемешев // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 1998. – № 2. – С. 18 – 23.

495. Лемешев М.С. Формування структури електропровідного бетону під впливом електричного струму/ М.С. Лемешев // Сучасні технології, матеріали і конструкції у будівництві: Науково-технічний збірник. – Вінниця: УНІВЕРСУМ, 2006. –С. 36-41.

496. Христич О. В. Технологічні параметри виготовлення радіаційнозахисного бетону / О. В. Христич, М. С. Лемешев, Д. В. Черепаха //Наукові праці Вінницького національного технічного університету. – 2020. – №. 1. С. 1-10.

497. Лемешев М.С., Березюк О.В. Електротехнічний бетон для виготовлення анодних заземлювачів // Інтелектуальний потенціал XXI століття '2017: матеріали міжнародної науково-практичної Інтернет-конференції, 14-21 листопада 2017 р. – Одеса: SWorld, 2017.

498. Лемешев М. С. Розробка радіозахисних будівельних матеріалів для захисту від електромагнітного випромінювання // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві:- Вінниця:УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2006.- С. 244-250.

499. В.І.Савенко Ентропія як прояв системної та діалектичної сутності будівельної організації комбінатного типу Текст Савенко В.І. С.П.Пальчик, Клюєва В.В.Победа С.С. УРСС Вип.№36 КНУБА –К. 2018 С.142-147 Web: http://urss.knuba.edu. Ua Copernicus Google

500. С.і. Доценко В.І. Савенко Теоретичне обґрунтування ізоморфізму організаційної структури підприємства іНаук.-техн.журнал Енергетика та комл Інтегровані технолог АПК №1(6) Харк. 2017--с43-47

501. В.І. Савенко Генетичний підхід до ділової досконалості та ізоморфізм структури будівельної організації Тексти тез доповідей В.І.Савенко,Доценко С.І., В.В.Клюєва ,С.П.Пальчик 8 Міжнародна конф.тези КЗЯТПС ЧНТУ Чернігів - 2018-С.101-102

502. Савенко В.І. Оптимальні методи управління будівельною організацією комбінатного типу Текст /В.І.Савенко,С.І.Доценко,В.В. Клюєва,М.О. Терещук Управління розвитком складних систем, № 35, наук.вид. КНУБА – К.2018 - С.147-154 Web: http://urss.knuba.edu. Ua Copernicus Google

503. Савенко В.І.Організаційні виробничі системи в світлі загальної організаційної науки та сучасного кадрового менеджменту Текст В.І. Савенко, С.П. Пальчик , І.С.Нестеренко, М.О Терещук.В.В. Клюєва УРСС 2018 № 34- С.161-169 Web: http://urss.knuba.edu. Ua Copernicus Google

504. В.І.Савенко Інтелектуальні інформаційні інструменти розвитку виробничої системи енергетичного менеджменту та підприємства в цілому /Текст Савенко В.І. Доценко С.І. Пальчик С.П, Клюєва В.В. Терещук М.О. УРСС Вип.№37 КНУБА –К. 2019 -С195-204 Web: http://urss.knuba.edu. Ua Copernicus Google

505. Эшби У.Р. Введение в кибернетику.М.,ИЛ.1959

506. Бир С. Кибернетика в управлении производством. М,Физматгиз,196

507. Бусленко Н.П.и др.Лекции по теории сложных систем. М., «Советское радио»,1973

508. В.М.Глушков Использование в народном хозяйстве вычислительной техники и эффективность ее использования .-Киев.:Изд-во ВИНИТИ.-С.3-8

509. А. А. Богданов Тектология Всеобщая организационная наука. Третье издание (Часть 1. — Л.-М. 1925; Часть 2. — Л.-М. 1927; Часть 3. — Л.-М, 1929).

510. Пригожин А.И. Методы развития организаций . –М. Знание -2009.- 567С.

511. В.І.Савенко,О.М.Лівінський, В.Г.Васильков та ін.Менеджмент якості в будівництві і геном ділової досконалості організації2-ге вид. перероб. І доп.(монографія),-Київ.Центр учб.літератури.2018-233с. ISBN978-611-01-1114-0

512. Н.М.Фиалко,П.М.Куликов, В.И.Савенко и др.. Научно-технические основы энергоэффективного экологически чистого электроотопления помещений энергосбережения и энергоменеджмента 2-е изд.лерераб.и доп.(монография)-Киев: Центр учебн.литер.,2018.-472с. ISBN 978-611-01-1136-2

513. Шкворець Ю.Ф. Програмно-цільове управління формуванням і реалізацією державних пріоритетів науково-технічного та інноваційного розвитку (методологія, методи та інституційні механізми) :Монографія.-К.ПП «Сердюк В.Л.» 2016.-804с.

514. Савенко В.І.,Плугін А.А. Кущенко І.В.,Висоцька Л.М., Ващенко В.М.,Максимов С.Ю.та ін. Забезпечення корозійної та функціональної стійкості металомістких комплексів критичної інфраструктури за допомогою інноваційних науково містких екоресурсозберігаючих технологій: монографія /під аг.ред. Плугіна А.А, Савенка В.І, Кущенка І.В. Машкова О.А. – Київ: Центр учбової літератури. 2019.-306с.

515. Рецензирванная статья, Scopus:Arkadiy Plugin,Andrii Plugin, Oleksii Plugin,Dmytro Plugin,Olga Borziak The hypothesis about the influence of electrical phenomena on geological processes and global disasters 2020 DOI https://doi.orq/10.1051/e3sconf/202016602001:

516. .https://www.researchqate.net/publication/350038041 Arkadiy Plugin,Andrii Plugin, Oleksii Plugin,Dmytro Plugin,Olga Borziak Threat and prevention of massloss of life V1 Submicro-and macrocolloid chemistry and physicochemical mechanics of the Earth Uqroza I predotvrasenie massovoi qibeli ludej Zemli T1 Submikro I makroko Lambert Academic Publishinq монография

517. https://www.researchqate.net/publication/350022176 Arkadiy Plugin,Andrii Plugin, Oleksii Plugin,Dmytro Plugin,Olga Borziak Threat and prevention of massloss of life V2 Theory and ideas about the mechanisms of qlobal processes mysterious phenomena and natural disasters Uqroza I predotvrasenie massovoj qibeli ludej T2 Teor Lambert Academic Publishinq монография

518. https://www.researchqate.net/publication/350022514 Arkadiy Plugin,Andrii Plugin, Oleksii Plugin,Dmytro Plugin,Olga Borziak Threat and prevention of mass loss of life V3 Threats to modern civilization and ensurinq its eternal existence Uqroza i predotvrasenie massovoj qibeli iudej T3 Uqrozy sovremennoj civilizacii i obespe Lambert Academic Publishinq монография

519. Байкова, Е. В. Формирование искусственной среды города как глобального визуального кода / Е. В. Байкова // Вопросы культурологии. – 2013. – № 12. – с. 42 – 44.

520. Гейл, Ян. Города для людей [Текст] / Ян Гейл; – М.: Альпина паблишер, 2012 – 276 с.

521. Мироненко, В. П. Архітектурна ергономіка [Текст] / В. П. Мироненко; – К.: Нау-друк, 2009. – 240 с.

522. Филин, В. А. Визуальная среда города / В. А. Филин // Вестник Международной академии наук. Русская секция. – 2006.-Вып. 2. – С. 43 – 50.

523. Бунич, Е. А. Методы изучения восприятия городского пространства / Е.А. Бунич // Мониторинг общественного мнения: экономические и социальные перемены. – 2012. – Вып. № 6 (112). – С. 43 – 47.

524. Веселкова, Н. В. Ментальные карты города: вопросы методологии и практика использования / Н. В. Веселкова // Социология: М. – 2010. – № 31. – С. 5 – 29.

525. Водзинский, Е. Е. Методические рекомендации по исследованию историко-архитектурного наследия в городах Украинской ССР [Текст]/ Е.Е. Водзинский; – К. – 1982 – 96 с.

526. Желнина, А. Образ города и визуальные методы социологического исследования / А. Желнина // «Телескоп»: наблюдения за повседневной жизнью петербуржцев. – 2004. – № 6. – С. 1 – 6.

527. Иовлев В. И. Экология пространства и профессиональное развитие архитектора [Електроне джерело] / В.И. Иовлев //Архитектон: известия вузов. – 2012. – №2(38). – Режим доступа: http://archvuz.ru/2012_2/12/ (від 25.03.2021)

528. Крашенинников, А. В. Когнитивная урбанистика: архетипы и прототипы городской среды: Монография / А. В. Крашенинников. – М.: КУРС, 2020 – 210 с. – (Серия «Наука»)

529. Янушкина Ю. В. Визуально-кинестетическая экология публичных пространств современного города. – Вестн. Волгогр. гос. ун-та. Сер. 7, Филос. 2014. – № 3 (23) – с. 71–76.

530. Б.Н. Ланецкий, В.В. Лукьянчук, И.Н. Теребуха. Комплексная модель контроля технического состояния и восстановления работоспособности сложной технической системы с многоуровневой структурой // Системи озброєння і військова техніка. – Харквів, 2011. - № 4(28). – С. 73-75.

531. Forecasting reliability of complex technology objects. Parameters optimization of their technical exploitation: [monography] in English / Sergey Lenkov, Igor Tolok, Vadim Tsitsarev, Genadiy Zhyrov, Evgen Lenkov, Yurii Khlaponin, Bohdan Borowik; under edition S.V. Lenkov. – Poland, Bielsko-Biala: Publishing house «BEL », 2018. – 253 p.

532. Б.М. Ланецький, В.В. Бурцев, В.І. Карпенко, В.В. Лісовенко. Науково-технічне супроводження експлуатації і ремонту засобів зенітних ракетних систем: основні положення, сучасний стан та пропозиції щодо удосконалення. // Системи обробки інформації. - Харків., 2006. — № 3(52). – С. 75-80.

533. ДСТУ В 3576-97. Експлуатація та ремонт військової техніки. Терміни та визначення. – К.: Держстандарт України, 1998. – 59 с.

534. ДСТУ 2860-94. Надійність техніки. Терміни та визначення. Введ. 1996-01-01. – 96 с.

535. Моделирование и оптимизация процессов технического обслуживания сложных объектов радиоэлектронной техники: Монография / Ю.В. Березовская, К.Ф. Боряк, В.О. Браун, С.В. Ленков и др.; под ред. С.В. Ленкова. – 1-е издание. – Николаев: Сент Гросс, 2012. – 150 с.

536. Вопросы математической теории надежности / Е.Ю.Барзилович, Ю.К.Беляев , В.А.Каштанов и др.; Под ред. Б.В.Гнеденко. – М.: Радио и связь, 1983. – 376 с.

537. Б.Н. Ланецкий, В.В. Лукьянчук, А.А. Артеменко. Комплексное оценивание показателей безотказности и остаточной долговечности сложных технических систем, эксплуатируемых по техническому состоянию. Основные положения Системи обробки інформації. — 2016. — № 2(139). – С. 40-43.

538. Стрельников В.П., Федухин А.В. Оценка и прогнозирование надежности электронных элементов и систем. – К.: Логос, 2002. – 486 с.

539. М. О. Шишанов, А. О. Веретнов. Методичні основи дослідження ремонтопридатності військової автомобільної техніки. Озброєння та військова техніка, - 2019, 23 (3). Kiiv, С. 53-58.

540. S. Lenkov, G. Zhyrov, D. Zaytsev, I. Tolok, E. Lenkov, T. Bondarenko, Y. Gunchenko, V. Zagrebnyuk, O. Antonenko/ Features of modeling failures of recoverable complex technical objects with a hierarchical constructive structure // Східно-Європейський журнал передових технологій. – Харків, 2017. - №4/4(88) – С. 34 – 42. DOI:10.15587/1729-4061.2017.108395.

541. Genadiy Zhyrov, Serhii Lienkov, Yurii Husak, Hennadii Banzak, Igor Tolok. Analysis of problem optimization of parameters maintenance process according to state with constant periodicity of control. // International Journal of Emerging Trends in Engineering Research Available. ISSN 2347-3983. Volume 8. No. 6, June 2020, P.2605-2611. DOI:10.30534/ijeter/2020/63862020.

542. Жиров Г.Б. Алгоримт моделювання процесів технічного обслуговування за ресурсом складних радіоелектронних об`єктів // XIII Міжнародна науково-практична конференція «Військова освіта і наука: сьогодення та майбутнє». – К.: ВІКНУ, 2017. – С.36.

543. Лєнков Є.С., Жиров Г.Б., Бондаренко Т.В. Формализованная математическая модель процесса адаптивного технического обслуживания по состоянию сложной радиоэлектронной техники // Журнал «Інформатика та математичні методи в моделюванні». – Одеса, 2016, - №2. – С.365 – 371.

544. Жиров Г.Б., Лєнков Є.С., Бондаренко Т.В. Алгоритмічна модель процесу технічного обслуговування за станом з постійною періодичністю контролю // «Сучасна спеціальна техніка», м.Київ, 2017. – 1. – с. 26 – 29.

545. Охрамович М.М., Шевченко В.В., Кравченко О.І. Математична модель процесу технічного обслуговування і ремонту складного об`єкту радіоелектронної техніки (РЕТ) // XV Міжнародна науково-практична

конференція «Військова освіта і наука: сьогодення та майбутнє». – К.: ВІКНУ, 2019. – С.66.

546. Проценко Я.М. Методика параметричного синтезу автоматизованої системи технічного обслуговування складного об`єкта // XIII Міжнародна науково-практична конференція «Військова освіта і наука: сьогодення та майбутнє». – К.: ВІКНУ, 2017. – С.73.

547. Охрамович М.М., Шевченко В.В., Кравченко О.І. Особливості автоматизації процесу технічного обслуговування і ремонту радіоелектронної техніки (РЕТ) // XV Міжнародна науково-практична конференція «Військова освіта і наука: сьогодення та майбутнє». – К.: ВІКНУ, 2019. – С.68.

548. Тененбаум М.М. Износостойкость конструкционных материалов и деталей машин при абразивном изнашивании / М.М. Тененбаум. – М.: Машиностроение, 2006. – 331 с.

549. Роик Т.А., Глушкова Д.Б., Тарабанова В.П. Влияние химического состава на твердость и износостойкость деталей // Вестник НТУ «ХПИ». – Харьков: НТУ «ХПИ», 2012. – №63. – С. 92–98.

550. Киричок П.О., Роїк Т.А., Гавриш А.П., Шевчук А.В. та ін.. Новітні композиційні матеріали деталей тертя поліграфічних машин: монографія. Київ: НТУУ КПІ. 2015, 428 с. ISBN 978-066-622-692-4. URL: https://scholar.google.com.ua/scholar?hl=uk&as_sdt=0,5&cluster=6673344392320605039.

551. Jamroziak K., Roik T. Structure and Properties of the New Antifriction Composite Materials for High-Temperature Friction Units. In: Abdel Wahab M. (eds) Proceedings of the 7th International Conference on Fracture Fatigue and Wear. FFW-2018 (Ghent, Belgium, 9–10 July 2018). Ghent, 2018. Book ID: 459769_1_En. Chapter No: 57. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer. Singapore, 2019. P. 628–637. URL: https://doi.org/10.1007/978-981-13-0411-8_57.

552. Антифрикційний композиційний матеріал на основі інструментальної легованої сталі: пат. 128694 Україна: МПК C22C33/02. № u 2017 13010; заявл. 28.12.2017; опубл. 10.10.2018, Бюл. №19.

553. Антифрикційний композиційний матеріал на основі інструментальної сталі: пат. 102299 Україна: МПК C22C33/02. № a 2011 13514; заявл. 16.11.2011, опубл. 25.06.2013, Бюл. №13.

554. Roik T., Vitsiuk Iu. The Properties of new composite antifriction parts for printing equipment's friction units. Технологія і техніка друкарства. 2017. №2 (56). С. 16–23. URL: https://doi.org/10.20535/2077-7264.2(56).2017.84485.

555. Роїк Т. А., Віцюк Ю. Ю., Хмілярчук О. І. Особливості структуроутворення і властивості композиційних антифрикційних матеріалів для поліграфічних машин на основі утилізованих відходів. Наукові Вісті КПІ ім.

Ігоря Сікорського. 2018. № 5. С. 50−57. URL: DOI: 10.20535/1810-0546.2018.5.146165.

556. Роїк Т. А., Віцюк Ю. Ю. Антифрикційний композиційний матеріал на основі шліфувальних відходів інструментальної сталі для деталей друкарських машин. Міжвузівський збірник «Наукові нотатки». Луцьк. 2019. Вип. 68. С.79−85. URL: DOI: 10.36910/6775.24153966.2019.68.1.

557. Роїк Т. А., Віцюк Ю. Ю., Хмілярчук О. І. Структура і триботехнічні властивості композиційних антифрикційних матеріалів на основі відходів сталі Р7М2Ф6. Наукові Вісті КПІ ім. Ігоря Сікорського. 2020. № 1. С. 54−60. URL: DOI:10.20535/kpi-sn.2020.1.189200.

558. Шліфування і доводка зносостійких антифрикційних композитних деталей друкарських машин: Монографія. В 3 ч., ч. 2./ А. П. Гавриш та ін.; Київ: Видавничий дім „АртЕк”, 2019. 132 с. ISBN 978-617-7674-76-3.

559. Гавриш А.П., Роїк Т.А., Киричок П.О., Хохлова Р.А. Вплив абразивного інструменту і режимів різання при тонкому шліфуванні зносостійких нікелевих композитів на параметри шорсткості поверхонь тертя деталей поліграфічних машин. Наукові Вісті НТУУ «КПІ». 2016. №2. С. 77−87. URL: DOI: 10.20535/1810-0546.2016.2.61149.

560. Гавриш А. П., Мельничук П. П. Фінішна алмазно-абразивна обробка магнітних матеріалів: Монографія. Житомир: держ. технол. ун-т. ЖДТУ, 2004. 551 с. ISBN 966-683-069-8.

561. Новиков М. В. Абразивні матеріали //Енциклопедія Сучасної України: електрон. версія [веб-сайт]/гол. ред.: І. М. Дзюба, А. І. Жуковський, М. Г. Железняк та ін.; ІНМ НАН України, НТШ. Київ: Інститут енциклопед. досл. НАН України, 2006. URL: http://esu.com.ua/search_articles.php?id=42203.

562. Инструменты из сверхтвердых материалов/ под. ред. Н. В. Новикова и С. А. Клименко. — Изд. 2-е, перераб. и доп.—М.: Машиностроение, 2014. 608с.

ISBN 978-5-94275-703-8. URL: https://docplayer.ru/40252931-Instrumenty-iz-sverhtverdyh-materialov.html.

563. Основи теорії різання матеріалів/ Мазур М. П. та ін.; за ред. М. П. Мазура. 3-е вид. перероб. і доп. Львів: Новий Світ, 2000, 2020. 471 с. ISBN 978-966-418-105-8. URL: http://ns2000.com.ua/wp-content/uploads/2019/11/Osnovy-teorii-rizan.mater.pdf.

564. Kozhevnikov S.N. (1969) Theory of mechanisms and machines: Textbook. Moscow: Mashinostroenie, 1969. (in Russian).

565. Kulachkovo-planetarnyi mekhanizm [Cam-planetary mechanism]: patent 98401 Ukraine: IPC F16H 53/00. publ. 10.05.2012, Bul. №9/2012.

566. Senkus V.T., Bosak V.O., Kolomiiets A.B. (2013) Kinematyka kulachkovo-zubchastoho mekhanizmu shtantsiuvalnoi mashyny [Kinematics of cam-gear mechanism of the die cutting machine]. Upakovka, no. 6, pp. 45-49. (in Ukrainian).

567. Kulachkovo-vazhilnyi mekhanizm [Cam-lever mechanism]: patent 97334 Ukraine: IPC F16H 25/02, F16H 53/00. publ. 25.01.2012, Bul. № 2/2012.

568. Senkus V.T., Kolomiiets A.B., Bosak V.O. (2015) Syntez mekhanizmu vyrivniuvannia shvydkosti lantsiuhovoho konveiera [Synthesis of the mechanism of equalization of speed of the chain conveyor]. Upakovka, no. 3, pp. 28-31. (in Ukrainian).

569. Senkus V.T., Bosak V.O., Knysh O.B., Kravchuk I.M. (2012) Kinematyka planetarnoho kulachkovo-vazhilnoho mekhanizmu [Kinematics of the planetary cam-lever mechanism]. Upakovka, no. 5, pp. 55-58. (in Ukrainian).

570. Kolomiets A.B., Kotovskii O.O. (2020) Improvement of the cardboard tray and case forming mechanisms. Progressive directions of technological complexes' development: Collection of reports of VI Intern. scien. & tech. conf. (Lutsk, June 2-4, 2020). pp. 197-199.

571. Рвачев, В.Л. Теория -функций и некоторые ее приложения [Текст]: Монография / В.Л. Рвачев. – Киев: Наукова думка, 1982. – 566 с.

572. Nechiporenko, V.M. Method of design of interference fit based on complex mathematical modeling. [Text] / V.M. Nechiporenko, V.A. Salo, P.I. Litovchenko, V.V. Yemanov, S.A. Horielyshev // In: Advances in Design, Simulation and Manufacturing III. DSMIE 2020 Conference Proceedings, LNME – 2020. – Volume 1: Manufacturing and Materials Engineering, pp. 45–54. doi: 10.1007/978-3-030-50794-7_5

573. Літовченко, П.І. Новий науково обґрунтований метод автоматизованого проектування посадок з натягом [Текст] / П.І. Літовченко, В.М. Нечипоренко, В.А. Сало, Л.П. Іванова // Збірник наукових праць Академії ВВ МВСУ. – Харків, 2013. – Вип. 1. – С. 74–79.

574. Нечипоренко, В.М. Використання теорії -функцій для створення раціональних посадок з натягом [Текст] / В.М. Нечипоренко, В.А. Сало, П.І. Літовченко, Б.В. Ковбаска, Д.О. Верхорубов // Збірник наукових праць НА НГУ. – Харків, 2016. – Вип. 2. – С. 72–76.

575. Нечипоренко, В.М. Метод аналітичного опису кінцевої множини придатних посадок з натягом в області її -параметричної моделі [Текст] / В.М. Нечипоренко, В.А. Сало, П.І. Літовченко, Л.П. Іванова // Збірник наукових праць НА НГУ. – Харків, 2017. – Вип. 1. – С. 97–102.

576. Горбунов, А.П. Дослідження криволінійних форм вірогідної зони придатних фрикційних з'єднань [Текст] / А.П. Горбунов, В.М. Нечипоренко, В.А. Сало, П.І. Літовченко // Збірник наукових праць НА НГУ. – Харків, 2017. – Вип. 2. – С. 88–92.

577. Сало, В. А. Дослідження вірогідної зони придатних посадок з натягом при автоматизованому проектуванні [Текст] / В.А. Сало, А.П. Горбунов, В.М. Нечипоренко // Вісник Житомирського державного технологічного університету. – Житомир, 2017. – Вип. 2. Том 1. Серія: Технічні науки . – С. 73–77.

578. Нечипоренко, В.М. Дослідження кругової зони придатних посадок з натягом при аналітичному моделюванні [Текст] / В.М. Нечипоренко, В.А. Сало, П.І. Літовченко, Д.О. Верхорубов, О.В. Згодько// Збірник наукових праць НА НГУ. – Харків, 2018.– Вип. 1. – с. 95–100.

579. Свідоцтво № 99502 від 04.09.2020 про реєстрацію авторського права на твір за темою «Проектування раціональних посадок з натягом на основі багатопараметричних математичних моделей області їх існування» на комп'ютерну програму «Interference Fit» / П.І. Літовченко, В.М. Нечипоренко, В.А. Сало, Я.В. Павлов.

580. Salo, V.A. Calculation of stress concentrations in orthotropic cylindrical shells with holes on the basis of a variational method [Text] / V.A. Salo, V.P. Rakivnenko, V.M. Nechiporenko, A.M. Kirichenko, S.S. Horielyshev, D.V. Onopreichuk, V.O. Stefanov // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2019. – Vol. 3, Issue 7 (99). – P. 11–17. doi: 10.15587/1729-4061.2019.169631

581. Salo, V.A. Calculation of the spherical elements of non-uniform thickness for structures with holes based on the variational RVR-method [Text] / V.A. Salo, V.M. Nechiporenko, V.P. Rakivnenko, S.A. Horielyshev, N.V. Gleizer, A.V. Kebko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2020. – Issue 6/7(108). – P. 36–42. doi: 10.15587/1729-4061.2020.217091

582. Сало, В. А. Дослідження міцності пружної циліндричної конструкції під дією локального навантаження [Текст] / В.А. Сало, В.М. Нечипоренко // Збірник наукових праць НА НГУ. – Харків: 2017. – Вип. 2. – С. 76–82.

583. Яглінський В. П., Гутиря С. С., Аймен Обайді, Параметрична надійність механізмів паралельної структури і кінематики типу гексапод / Теорія та практика раціонального проектування, виготовлення і експлуатації машинобу-дівних конструкцій, 3-я міжн. наук. техн. конф., м. Львів. – 2012. – С. 111-112.

584. Яглінський В. П., Гутиря С. С. Теория и практика моделирования технического уровня технологических машин / Колл. Моногр. Моделирование технологических процессов механической обработки и сборки. Москва: Издат. дом "Спектр", - 2014. –С. 224-272.

585. Natural gas. Methods of calculation of physical properties. Definition of compressibility coefficient: GOST 30319.2-96. – M: Standard Publishing House, 1997. – 53 p. (in Russian)

586. Natural gas. Technique for calculating compressibility coefficient for pressure range of 12 ... 25 MPa: DSSDD 4-2002 // Ye. Pistun, F. Matiko. [Valid from 01.07.2002] – Kyiv, Derzhstandard of Ukraine, 2002. – 5 p. (in Ukrainian)

587. Calculation of density, compressibility factor, isentropic exponent and dynamic viscosity for moderately compressed gas mixtures: GSSSD MR 118-05. – M.: GNMTS "SSD", 2005. – 32 p. (in Russian)

588. Natural gas – Calculation of compression factor. Part 2. Calculation using molar-composition analysis. ISO 12213-2:2006

589. Natural gas – Calculation of compression factor. Part 3: Calculation using physical properties. ISO 12213-3:2006

590. Natural gas – Calculation of thermodynamic properties. Part 1: Gas phase properties for transmission and distribution applications. ISO 20765-1:2005

591. Reid R. C., Prausnitz J. M., Poling B. E. The properties of gases and liquids. 4th ed. New-York: McGraw-Hill, 1987. – 742 p.

592. Sychov V. V., Wasserman A. A., Kozlov A. D. Thermodynamic properties of methane. M.: Standards Publishing House, 1979. – 348 p. (in Russian)

593. Miller R. W. Flow measurement engineering handbook. 3rd ed. Boston: McGraw-Hill, 1996. – 1024 p.

594. Конопелько Є. І. Діяльність гірничорятувальної служби в сучасній Україні. Вісті Донецького гірничого інституту. № 1(44). 2019. С. 79-86.

595. Дубов Е. Д., Андреев И. М., Колосов О. Л. Горное хозяйство шахт: состояние и перспективы. Уголь Украины. 2005. № 6. С. 31-33.

596. Чумак А. С., Дузь Л. Е., Кривченко Ю. А., Сиригос П. А. Прогнозирование аварийности на предприятиях Госуглепрома Украины. Горноспасательное дело: сб. науч. тр. Донецк: НИИГД., 1994. С. 3-7.

597. The 9/11 Commission Report. Final Report of the National Commission on Terrorist Attacks Upon the United States. 2004. (http://www.agentura.ru/text/biblio/911Report.pdf)

598. Brian A. Jackson, et al. Protecting Emergency Responders: Lessons Learned from Terrorist Attacks, CF-176-OSTP, 2002. (http://www.rand.org/publications/CF/CF176/).

599. Tom La Tourrette, et al. Protecting Emergency Responders: Community Views of Safety and Health Risks and Personal Protection Needs. National Institute for Occupational Safety and Health, 2003.

600. Brian A. Jackson, et al. Protecting Emergency Responders: Safety Management in Disaster and Terrorism Response. National Institute for Occupational Safety and Health, 2004.

601. Крупка А. А. Управление и организация ведения аварийно-спасательных работ: Монография. Донецк: Донецкий НИИСЭ, ПК «Спектр», 2004. 179 с.

602. Зав'ялова О. Л., Костенко В. К., Крупка А. А., Дузь Л. Є., Кралюк М. О. Тактика ліквідації наслідків вибухів газопилових сумішей у гірничих виробках вугільних шахт. Науковий вісник ДонНТУ. №1(2)-2(3), 2020.

603. Булгаков Ю. Ф. Тушение пожаров в угольных шахтах. Донецк, 2001. 270 с.

604. Костенко Т. В. Визначення екстремальних небезпек під час гасіння пожеж. Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій: матеріали IX Міжнародної науково-практичної конференції, м. Черкаси, 18-19 травня 2018. С.45-47.

605. ДНАОП 1.1.30-4.01.97 Статут ДВГРС по організації і веденню гірничорятувальних робіт.

606. Lappo GM Geografia miast: ucheb. dodatek na gegr. ф-тов вузов / GM Lappo. - M.: Humanit. wyd. tsentr VLADOS, 1997. - 480 s {po rosyjsku}.

607. Demin NM Upravlenie razvitiem gradostroitel'nyh sistem / NM Demin. - K .: Budiv`el'nyk, 1991. - 184 s {po rosyjsku}.

608. Stratehichne planuvannia rozvytku terytorii / SM Nevmerzhytska, TR Tsalko, SV Breus, SM Bondarenko // Derzhavne upravlinnia: udoskonalennia ta rozvytok. - 2021. - № 3. - Reżym dostupu:http://www.dy.nayka.com.ua/?op=1&z=1992 {po ukraińsku}.

609. Habrel MM Pidvyshchennia efektyvnosti mistobudivnykh rishen v orhanizatsii prymiskykh terytorii: monohrafiia / MM Habrel. - Lwów: SPOLOM, 2014 r. - 272 s. {po ukraińsku}.

610. Manshylina TI Suspilno-heohrafichne doslidzhennia rozvytku mist-suputnykiv ta prymiskoi zony Kyieva: dys. Nd Can. heohr. Nauka: 11.00.02 / TI Manshylina. - Kijów, 2015 r. - 20 s {w języku ukraińskim}.

611. Oleynik VD `Etapy rozwoju i etapy powstawania obszarów podmiejskich / VD Oleynik, AV Gladkiy // Pskovskij regionologicheskij zhurnal, 2016. - № 1 (25). - [`Zasób elektroniczny]. - Tryb dostępu:http://mx.ogasa.org.ua/bitstream{po rosyjsku}.

612. Kositskij Ja.V. Arhitekturno-planirovochnye printsipy proektirovanija gorodov (urbanistika) / Ja.V. Kositskiego. - Moskwa; Char'kov, 1974. - 205 s {po rosyjsku}.

613. Viatkin KI Primyskaya zona jaka element urbanistyczno-systemy // Elektronnyi resurs. - Rezhym dostupu: DOI 10.33042 / 2522-1809-2020-3-156-135-139 {w języku ukraińskim}.

614. D`omin MM Sovremenn aglomeracy`y`, mój`fy`ly` prawdziwy`nost`. Dz. nauka. pracz". Doświadczenia i perspektywy rozwoju Ukrainy. Vy`p 22. - Teoriya i prakty`ka pry`jnyattya mistobudivny`x rishen`. - Ky`yiv, 2012 {po ukraińsku}.

615. Горевой А. Выбор генераторов для построения малошумящих СВЧ-синтезаторов / А. Горевой // Компоненты и технологии. – 2012. – Вип. 6. – С. 12-17.

616. Кандырин Н.П. Выбор генераторов при проектировании СВЧ синтезаторов с ФАПЧ / Н.П. Кандырин // Системи обробки інформації. – Х.: ХУ ПС, 2015. – Вип. 8 (133). – С. 25-30.

617. Ченакин А. ГУН или ЖИГ? Проблема выбора при проектировании высококачественного синтезатора с ФАПЧ / А. Чеканин // Электроника: наука, технология, бізнес. – РИЦ «Техносфера», 2012. – Вип. 6 (120). – С. 118-122.

618. YIG-Tuned Oscillatos For Industrial Applications. Technical Data. Каталог Avantek Products фірми HEWLETT PACKARD. – с. 3-40 – 3-53.

619. Кононов С.П., Білик О.Б. «Високочастотний генератор». Патент України H03B 23/00 № 145810 МПК(2020). Опубл. в бюлетені № 1 від 06.01.2021 р.

620. Leveson N.G. Engineering a Safer World. The MIT Press Cambridge, Massachusetts, London, England, 2011.

621. N. Dolzhenko, E Mailyanova, Y.Toluev «Influence of system errors in meteorological support on flights safety». //News of the academy of sciences of the republic of Kazakhstan series of geology and technical sciences. – 2020. -№5(443). - С. 81-89.

622. С.Б. Лебедев Основы теоретической подготовки диспетчеров по обеспечению полетов. К.: Авиакомпания «Международные авиалинии Украины», 2005. 796 с.

623. Руководство по планированию обслуживания воздушного движения. - Doc 9426 - AN/924 ИКАО. 1984

624. Руководство по обучению. Часть 3. Сотрудник по обеспечению полетов/диспетчер. Doc 7192 - AN/857. 1998.

625. О.В. Артеменко, Ю.Б. Бєляєв, Т.Ф. Шмельова Розробка автоматизованої системи підготовки передпольотної інформації. Науково-практичний журнал «Науково-технічна інформація». К.: 2010. №3. С. 41-44.

626. В.Н. Неделько Обеспечение эффективности информационной поддержки принятия решений в автоматизированных системах обслуживания воздушного движения с элементами искусственного интеллекта: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.13 .К., 2002. 183 с.

627. И.Н. Глухих Интегрированные автоматизированные системы интеллектуальной поддержки принятия решений при управлении воздушным движением (теория, модели, алгоритмы, принятие решений): автореф. дис. на соискание науч. степени доктора техн. наук: спец. 05.13.16.Самара, 2000. 34 с.

628. В.В. Москвичев Информационная поддержка решений диспетчера для управления вынужденной посадкой воздушных судов вне аэродрома: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.13. К., 1998. 178 с.

629. Ю.В. Сікірда Моделювання системи підтримки прийняття рішень авіадиспетчера в позаштатних польотних ситуаціях: дис. ... кандидата техн. наук: 05.13.06. К., 2004. 184 с.

630. Т.Ф. Шмелева, О.В.Артеменко, В.В. Павлова Выбор запасного аэродрома в условиях неопределенности. Наукові праці академії: випуск VII, частина I. Кіровоград: Видавництво ДЛАУ, 2003. С. 234-240.

631. О.В. Артеменко, Т.Ф.Шмелева, А.С. Тимошенко Применение искусственных нейронных сетей в задаче выбора запасного аэродрома. I Міжнародна науково-технічна конференція «Обчислювальний інтелект (результати, проблеми, перспективи)». Черкаси, ЧДТУ, 10-13 травня, 2011 р. С. 58-59.

632. В.В. Круглов, В.В. Борисов Искусственные нейронные сети. Теория и практика. М.: Телеком, 2002. 382 с.

633. Звіт про основні результати діяльності Державної служби України з надзвичайних ситуацій у 2019 році [Електронний ресурс] / Режим доступу: https://www.kmu.gov.ua/storage/app/sites/1/17-civik-2018/zvit_2019/zvit-2019-dsns.pdf

634. Субботін С. О. Подання й обробка знань у системах штучного інтелекту та підтримки прийняття рішень [Електронний ресурс] / Режим доступу: http://www.unt.kiev.ua/library_books/%D0%9A%D0%B0%D1%84%D0%B5%D0%B4%D1%80%D0%B0%20%D1%96%D0%BD%D1%84%D0%BE%D1%80%D0%BC%D0%B0%D1%86%D1%96%D0%B9%D0%BD%D0%B8%D1%85%20%D1%82%D0%B5%D1%85%D0%BD%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D1%96%D0%B9/%D0%95%D0%BA%D1%81%D0%BF%D0%B5%D1%80%D1%82%D0%BD%D1%96%20%D1%81%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC%D0%B8/44_mopz_book.pdf

635. BBC News Україна. 83 людини загинуло: хто винен в такій кількості жертв пожежі в Греції? [Електронний ресурс] / Режим доступу: https://www.bbc.com/ukrainian/news-44975416

636. Земля у вогні: зміна клімату та вирубка лісів підвищують ризик пожеж у світі [Електронний ресурс] / Режим доступу: https://www.dw.com/uk/%D0%B7%D0%B5%D0%BC%D0%BB%D1%8F-%D1%83-%D0%B2%D0%BE%D0%B3%D0%BD%D1%96-%D0%B7%D0%BC%D1%96

%D0%BD%D0%B0-%D0%BA%D0%BB%D1%96%D0%BC%D0%B0%D1%82%D1%83-%D1%96-%D0%B2%D0%B8%D1%80%D1%83%D0%B1%D0%BA%D0%B0-%D0%BB%D1%96%D1%81%D1%96%D0%B2-%D0%BF%D1%96%D0%B4%D0%B2%D0%B8%D1%89%D1%83%D1%8E%D1%82%D1%8C-%D1%80%D0%B8%D0%B7%D0%B8%D0%BA-%D0%BF%D0%BE%D0%B6%D0%B5%D0%B6-%D1%83-%D1%81%D0%B2%D1%96%D1%82%D1%96/a-51943578

637. Наказ «Про затвердження Порядку організації внутрішньої, гарнізонної та караульної служб в органах управління і підрозділах Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту Державної служби України з надзвичайних ситуацій» від 04.12.2014 р. [Електронний ресурс] / Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1563-14#Text

638. ГОСТ 27331-87 Пожежна техніка. Класифікація пожеж встановлює класи та символи пожеж. — М.: Державний комітет СРСР з стандартизації, 1987.

639. ISO 3941:2007 Классификация пожаров [Електронний ресурс] / Режим доступу: https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:3941:ed-2:v1:ru

640. Навчально-методичний центр цивільного захисту та безпеки життєдіяльності Івано-Франківської області. Методична розробка. Вибухова та пожежна небезпека на виробництві. Рекомендації щодо дій під час виникнення пожежі [Електронний ресурс] / Режим доступу: https://www.ifnmu.edu.ua/images/zagalna_informacia/civilnii_zahist/metodichni_materiali/5.pdf

641. Пожсоюз. Понятие пожара и стадии пожара [Електронний ресурс] / Режим доступу: https://euroservis.com.ua/ponyatie-pozhara-i-stadii-pozhara/

642. Ciszewski, L. Gelman, L. Swedrowski, Current-based higher-order spectralcovariance as a bearing diagnostic feature for induction motors, Insight 58 (8)(2016) 431–434 [Electronic resource] / Available https://www.researchgate.net/publication/305740437_Current-based_higher-order_spectral_covariance_as_a_bearing_diagnostic_feature_for_induction_motors

643. Назін В. І. Дисертація «Динаміка здвоєних гідростато-динамічних підшипників ковзання агрегатів енергоустановок», 2018 [Електронний ресурс] / Режим доступу: https://ipmach.kharkov.ua/wp-content/uploads/2018/11/%D0%A2%D0%B5%D0%BA%D1%81%D1%82-%D0%B4%D0%B8%D1%81%D0%B5%D1%80%D1%82%D0%B0%D1%86%D0%B8%D0%B8-%D0%9D%D0%B0%D0%B7%D0%B8%D0%BD-%D0%92%D0%BB%D0%B0%D0%B4%D0%B8%D0%BC%D0%B8%D1%80-%D0%98%D0%BE%D1%81%D0%B8%D1%84%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D1%87-PDF.pdf

644. Гайдамака А. В. Підшипники кочення. Навчальний посібник [Електронний ресурс] / Режим доступу: http://repository.kpi.kharkov.ua/bitstream/KhPI-Press/2841/1/Haidamaka_Pidshypnyky%20kochennia_2009.pdf

645. Юшко С. В., Борщ О. Є., Юшко М. А. Стаціонарна теплопровідність [Електронний ресурс] / Режим доступу: https://www.kpi.kharkov.ua/archive/Articles/krio/Statsionarnaya-teploprovodnost-_Ushko.pdf

646. Будник А. Ф. Тепломасоперенос в процесах та матеріалах дизайну матеріалів [Електронний ресурс] / Режим доступу: https://core.ac.uk/download/pdf/14032584.pdf

647. T. Prodromakis , B.P. Peh , C. Papavassiliou , C. Toumazou , A versatile memris- tor model with nonlinear dopant kinetics, IEEE Trans. Electron. Devices 58 (9) (2011) 3099–3105 .

648. T.B. Bai, L.B. Zhang, L.X. Duan, J.J. Wang, NSCT-based infrared image enhancement method for rotating machinery fault diagnosis, IEEE Trans. Instrum. Meas. 65 (10) (2016) 2293–2301, http://dx.doi.org/10.1109/TIM.2016.2579440.

649. U.P. Wen , K.M. Lan , H.S. Shih , A review of Hopfield neural networks for solving mathematical programming problems, Eur. J. Oper. Res 198 (2009) 675–687 .

650. Landecker, M.D. Thomure, L.M.A. Bettencourt, M. Mitchell, G.T. Kenyon, S.P. Brumby, Interpreting individual classifications of hierarchical networks, in: IEEE Symposium on Computational Intelligence and Data Mining, CIDM 2013, Sin-gapore, 16–19 April, 2013, 2013, pp.32–38.

651. Liu , Z. Wang , X. Liu , N. Zeng , Y. Liu , F.E. Alsaadi , A survey of deep neu- ral network architectures and their applications, Neurocomputing 234 (2017) 11–26 .