ISSN 2411-1872

DOI: 10.17117/nv.2015.02

<https://ukonf.com/doc/nv.2015.02.pdf>

Научный вестник

2015 · N 2(4)

Science bulletin

ISSN 2411-1872

9 772411 187205

<https://ukonf.com/nv>

Научный вестник

2015 · N 2(4)

Выходит 4 раза в год

Свидетельство о регистрации средства массовой информации ЭЛ № ФС 77-55459 от 25.09.2013 г.

выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор)

Учредитель и издатель:

ООО «Консалтинговая компания Юком»

Главный редактор: Уляхин Т.М.

Адрес редакции: Россия, 392000, г. Тамбов, а/я 44

URL: <https://ukonf.com/nv>

Информация об опубликованных статьях

предоставляется в РИНЦ (договор № 255-04/2015)

Science bulletin

2015 · N 2(4)

Issued 4 times a year

Registration Certificate of mass

media EL № FS 77-55459 from 09/25/2013

given by Federal service of supervision in the scope of communication, information technologies and mass media (Roskomnadzor)

Founder and Publisher: Consulting company Ukom

Editor in Chief: Ulyahin T.M.

Address of Publisher:

Russia, 392000, Tambov, PO box 44

URL: <https://ukonf.com/nv>

The information about published articles is given to the RISQ system (contract № 255-04/2015)

Статьи, поступающие в редакцию, рецензируются. Материалы публикуются в авторской редакции. За содержание и достоверность статей ответственность несут авторы. Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов статей. При использовании и заимствовании материалов ссылка на издание обязательна. Издание основано в 2013 году. Усл. печ. л. 5,69. 91 с.

Редакционная коллегия

Бажева Римма Чамаловна

Доктор химических наук, профессор

Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова

г. Нальчик, ул. Чернышевского, 173

Баширов Вадим Дипрович

Доктор сельскохозяйственных наук, профессор

Оренбургский государственный университет

г. Оренбург, пр. Победы, 13

Гайсин Ильшат Ахатович

Доктор сельскохозяйственных наук, профессор, зав. кафедрой

Казанский государственный аграрный университет

г. Казань, ул. К. Маркса, 65

Гоциридзе Рауль Симонович

Доктор химических наук, директор

Батумский государственный университет им. Шота Руставели

Грузия, г. Батуми, ул. Гришашвили 5

Губанова Елена Сергеевна

Доктор экономических наук, профессор, зав. кафедрой

Вологодский государственный университет

г. Вологда ул. Гагарина, 81

Жуков Борис Михайлович

Доктор экономических наук, профессор, зав. кафедрой

Южный институт менеджмента

г. Краснодар, ул. Ставропольская, 216

Заернюк Виктор Макарович

Доктор экономических наук, доцент, Российский

государственный университет туризма и сервиса

Московская обл., п. Черкизово, ул. Главная, 99

Зенченко Светлана Вячеславовна

Доктор экономических наук, профессор

Северо-Кавказский федеральный университет

г. Ставрополь, ул. Пушкина, 1

Editorial board

Bazheva Rima Chamalovna

Doctor of Chemical Sciences, Professor

Kabardino-Balkaria State University named H.M. Berbekov

Nalchik, Chernishevskiy st., 173

Bashirov Vadim Diprovich

Doctor of Agricultural Sciences, Professor

Orenburg State University

Orenburg, Pobedy ave., 13

Gaysin Ilshat Ahatovich

Doctor of Agricultural Sciences, Professor, head of Department,

Kazan State Agrarian University

Kazan, K. Marksa st., 65

Gotsiridze Raul Simonovich

Doctor of Chemical Sciences, Director

Batumi State University named Shota Rustaveli

Georgia, Batumi, Grishashvili st., 5

Gubanova Elena Sergeevna

Doctor of Economic Sciences, Professor, head of Department

Vologda State University

Vologda, Gagarin st., 81

Zhukov Boris Mihaylovich

Doctor of Economic Sciences, Professor, head of Department

Southern Institute of Management

Krasnodar, Stavropolskaya st., 216

Zaernyuk Victor Makarovich

Doctor of Economics Science, associate Professor

Russian State University of Tourism and Service

Moscow reg., set. Cherkizovo, Main st., 99

Zenchenko Svetlana Vyacheslavovna

Doctor of Economics Science, Professor

North-Caucasian Federal University

Stavropol, Pushkin st., 1

Редакционная коллегия

Киреев Иван Михайлович

Доктор технических наук, зав. отделом,
ведущий научный сотрудник
Росинформагротех, КубНИИТиМ (филиал)
г. Новокубанск, ул. Кутузова, 5

Кобелева Татьяна Алексеевна

Доктор фармацевтических наук, профессор, зав. кафедрой
Тюменский государственный медицинский университет
г. Тюмень, ул. Одесская, 61

Коротков Владислав Георгиевич

Доктор технических наук, профессор, декан
Оренбургский государственный университет
г. Оренбург, пр. Победы, 13

Мальшова Галина Владленовна

Доктор технических наук, профессор, Московский
государственный технический университет им. Н.Э. Баумана
г. Москва, ул. 2-я Бауманская, 6

Мегрелишвили Зураб Неврович

Доктор технических наук, профессор,
руководитель департамента
Батумский государственный университет им. Ш. Руставели
Грузия, Батуми, ул. Пиромани, 12

Ниценко Виталий Сергеевич

Доктор экономических наук
Одесский национальный университет им. И.И. Мечникова
Украина, г. Одесса, ул. Дворянская, 2

Оболеньский Николай Васильевич

Доктор технических наук, профессор, зам. директора
Нижегородский государственный инженерно-экономический
университет
г. Нижний Новгород, ул. Ильинская, 65

Пиджаков Александр Юрьевич

Доктор юридических и исторических наук, профессор,
зав. кафедрой, Санкт-Петербургский государственный
университет гражданской авиации
г. Санкт-Петербург, ул. Пилотов, 38

Пирожков Геннадий Петрович

Доктор культурологии, профессор
Тамбовский государственный технический университет
г. Тамбов, ул. Советская, 106

Полищук Владимир Юрьевич

Доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой
Оренбургский государственный университет
г. Оренбург, пр. Победы, 13

Попова Ангелина Алексеевна

Доктор химических наук, доцент, зав. кафедрой
Майкопский государственный технологический университет
г. Майкоп, ул. Первомайская, 191

Попова Ольга Григорьевна

Доктор сельскохозяйственных наук, профессор, зам. директора
Кубанский казачий государственный институт пищевой
индустрии и бизнеса (филиал)
г. Темрюк, ул. Советская, 4

Прохоров Владимир Тимофеевич

Доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой
Институт сферы обслуживания и предпринимательства
(филиал) ДГТУ
г. Шахты, ул. Шевченко, 147

Editorial board

Kireev Ivan Mikhailovich

Doctor of Technical Sciences, head of Department,
leading Researcher
Rosinformagroteh, KubNIITiM (branch)
Novokubansk, Kutuzov st., 5

Kobeleva Tatyana Alekseevna

Doctor of Pharmaceutical Sciences, Professor, head of
Department
Tyumen State Medical Academy
Tyumen, Odessa st., 54

Korotkov Vladislav Georgievich

Doctor of Engineering Sciences, Professor, Dean
Orenburg State University
Orenburg, Pobedy ave., 13

Malysheva Galina Vladlenovna

Doctor of Technical Sciences, Professor
Moscow State Technical University named N.E. Bauman
Moscow, 2nd Bauman st., 6

Megrelishvili Zurab Nevrovich

Doctor of Technical Science, Professor, head of Department
Batumi State University named Sh. Rustaveli
Georgia, Batumi, Pirosmeni st., 12

Nicenko Vitaliy Sergeevich

Doctor of Economics Science
Odessa I.I. Mechnikov National University
Ukraine, Odessa, Dvoryanskaya str., 2

Obolenskiy Nikolai Vasilyevich

Doctor of Engineering Sciences, Professor, deputy Director
Nizhny Novgorod State University of Architecture and
Civil Engineering
Nizhny Novgorod, Ilinskaya st., 65

Pidzhakov Aleksander Yurievich

Doctor of Juridical and Historical Sciences, Professor,
head of Department
St. Petersburg State University of Civil Aviation
St. Petersburg, Pilotov st., 38

Pirozhkov Gennadiy Petrovich

Doctor of Culturology, Professor
Tambov State Technical University
Tambov, Sovetskaya st., 106

Polishchuk Vladimir Yurievich

Doctor of Technical Sciences, Professor, head of Department
Orenburg State University
Orenburg, Pobedy ave., 13

Popova Angelina Alekseevna

Doctor of Chemical Sciences, associate Professor,
head of Department
Maykop State Technological University
Maykop, Pervomayskaya st., 191

Popova Olga Grigoryevna

Doctor of Agricultural of Sciences, Professor, deputy Director
Kuban Cossack State Institute of Food Industry and
Business (branch)
Temryuk, Sovetskaya st., 4

Prokhorov Vladimir Timofeevich

Doctor of Technical Sciences, Professor, head of Department
Institute of the Service Sector and Entrepreneurship (branch)
DSTU
Shakhty, Shevchenko st., 147

Редакционная коллегия

Рябцев Александр Львович

Доктор исторических наук, зав. кафедрой
Черноморское Высшее военно-морское ордена Красной Звезды
училище имени П.С. Нахимова
г. Севастополь, ул. Павла Дыбенко, 1

Рябцева Елена Евгеньевна

Доктор политических наук, профессор
Севастопольский экономико-гуманитарный институт
(филиал) Крымский федеральный университет
им. В.И. Вернадского
г. Севастополь, ул. Лизы Чайкиной, 80

Сопов Александр Валентинович

Доктор исторических наук, профессор
Майкопский государственный технологический университет
г. Майкоп, ул. Первомайская, 191

Тамбовцева Ритта Викторовна

Доктор биологических наук, профессор, зав. кафедрой
Российский государственный университет физической
культуры, спорта, молодёжи и туризма (ГЦОЛИФК)
г. Москва, Сиреневый бул., д. 4

Теренина Ирина Владимировна

Доктор экономических наук, профессор
Ростовский государственный строительный университет
г. Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, 162

Хажметов Лиуан Мухажевич

Доктор технических наук, профессор
Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет
им. В.М. Кокова
г. Нальчик, пр. Ленина, 1 В

Халиков Абдулхак Абдулхайрович

Доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой
Ташкентский институт инженеров железнодорожного
транспорта
Узбекистан, г. Ташкент, ул. Адылходжаева, 1

Чеканов Николай Александрович

Доктор физико-математических наук, профессор
Белгородский государственный национальный
исследовательский университет
г. Белгород, ул. Победы, 85

Чернецов Владимир Иванович

Доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой
Московский государственный университет технологий и
управления им. К.Г. Разумовского (филиал)
г. Пенза, ул. Красная, 38

Шекихачев Юрий Ахметханович

Доктор технических наук, профессор, декан
Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет
им. В.М. Кокова
г. Нальчик, пр. Ленина, 1 В

Языджан Амаяк Захарович

Доктор экономических наук, ведущий научный сотрудник
Институт образовательных технологий РАО
г. Сочи, ул. Орджоникидзе, 10 А

Яковлева Ирина Геннадьевна

Доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой
Запорожская государственная инженерная академия
г. Запорожье, пр. Ленина, 226

Яковлева-Чернышева Анна Юрьевна

Доктор экономических наук, доцент, проректор
Международный инновационный университет
г. Сочи, ул. Орджоникидзе, 10 А

Editorial board

Ryabcev Aleksandr Lvovich

Doctor of Historical Sciences, head of Department
Nakhimov Naval Academy (Sevastopol)
Sevastopol, Pavla Dybenko st., 1

Ryabceva Elena Evgenyevna

Doctor of Political Sciences, Professor
Sevastopol economic-humanitarian Institute (branch)
Crimean Federal University. V.I. Vernadsky
Sevastopol, Lisa Chaikina st., 80

Sopov Alexander Valentinovich

Doctor of Historical Sciences, Professor
Maykop State Technological University
Maykop, Pervomayskaya st., 191

Tambovtseva Ritta Viktorovna

Doctor of Biological Sciences, Professor, head of Department
Russian State University of Physical Education, Sport,
Youth and Tourism (RSUPESY&T)
Moscow, Lilac blvd., 4

Terenina Irina Vladimirovna

Doctor of Economic Sciences, Professor
State University of Civil Engineering
Rostov-on-Don, Socialisticheskaya st., 162

Hazhmetov Liuyan Muhazhevich

Doctor of Engineering Sciences, Professor
Kabardino-Balkar State Agricultural University named
after V.M. Kokov
Nalchik, Lenina ave., 1

Halikov Abdulhak Abdulhairovich

Doctor of Technical Sciences, Professor, head of Department
Tashkent Institute of Railway Transport Engineers
Uzbekistan, Tashkent, Adylhodzhaeva st., 1

Chekanov Nikolay Aleksandrovich

Doctor of Physico-mathematical Sciences, Professor
Belgorod National Research University
Belgorod, Pobedy st., 85

Tchernetsov Vladimir Ivanovich

Doctor of Technical Sciences, Professor, head of Department
Moscow State University of Technology and Management
named K.G. Razumovsky (branch)
Penza, Krasnaya st., 38

Shekihachev Yuriy Ahmethanovich

Doctor of Engineering Sciences, Professor, Dean
Kabardino-Balkar State Agricultural University named
after V.M. Kokov
Nalchik, Lenina ave., 1

Yazydzhani Amayak Zakharovich

Doctor of Economic Sciences, leading Researcher
Institute of Educational Technologies RAE
Sochi, Ordzhonikidze st., 10 A

Yakovleva Irina Gennadievna

Doctor of Technical Science, Professor, head of Department
Zaporozhye State Engineering Academy
Zaporozhye, Lenina ave., 226

Yakovleva-Chernysheva Anna Yurievna

Doctor of Economic Sciences, associate Professor, vice Rector
International Innovative University
Sochi, Ordzhonikidze st., 10 A

Редакционная коллегия

Авдеева Надежда Александровна

Кандидат медицинских наук, профессор
Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва
г. Саранск, ул. Ульянова, 26 А

Беляченко Андрей Александрович

Кандидат биологических наук, доцент
Саратовский государственный технический университет
им. Ю.А. Гагарина
г. Саратов, ул. Политехническая, 77

Большева Надежда Николаевна

Кандидат философских наук, доцент, директор филиала
Сибирский государственный аэрокосмический университет
им. М.Ф. Решетнева (филиал)
г. Зеленогорск, ул. Гагарина, 18

Волосова Елена Владимировна

Кандидат биологических наук, доцент
Ставропольский государственный аграрный университет
г. Ставрополь, пер. Зоотехнический, 12

Дружинина Анна Валентиновна

Кандидат юридических наук, доцент, проректор
Международный инновационный университет
г. Сочи, ул. Орджоникидзе, 10 А

Дуплинская Елена Борисовна

Кандидат экономических наук, доцент
Сибирский государственный университет путей сообщения
г. Новосибирск, ул. Д. Ковальчук, 191

Жумадилов Булат Зулхарнаевич

Кандидат биологических наук, доцент
Павлодарский государственный педагогический институт
Казахстан, г. Павлодар, ул. Мира, 60

Ижойкин Дмитрий Александрович

Кандидат физико-математических наук, старший научный
сотрудник, Центр современных технологий
г. Томск, ул. Советская, 37 А

Кузнецов Евгений Геннадьевич

Кандидат педагогических наук, доцент
Калининградский государственный технический университет
г. Калининград, ул. Молодежная, 6

Кулажников Вадим Владимирович

Кандидат юридических наук, доцент
Дальневосточный юридический институт МВД России (филиал)
г. Владивосток, ул. Котельникова, 2

Левин Евгений Владимирович

Кандидат физико-математических наук, генеральный директор
Научно-исследовательский и проектный институт
экологических проблем
г. Оренбург, ул. Караванная, 6 А

Мызникова Татьяна Николаевна

Кандидат экономических наук, доцент
Южно-Уральский государственный университет
г. Челябинск, пр. Ленина, 85

Новикова Ирина Викторовна

Кандидат экономических наук, доцент, зав. кафедрой
Московская академия предпринимательства при
Правительстве Москвы (филиал)
г. Благовещенск, ул. Ленина, 27

Оксикбаев Берикжан Кылышбекович

Кандидат биологических наук, зав. кафедрой
Жетысуский государственный университет им. И. Жансугурова
Казахстан, г. Талдыкорган, ул. Жансугурова, 187 А

Editorial board

Avdeeva Nadezhda Aleksandrovna

Candidate of Medical Sciences, Professor
Mordovia State University named N.P. Ogarev
Saransk, Ulyanov st., 26 A

Belyachenko Andrey Alexandrovich

Candidate of Biological Sciences, associate Professor
Saratov State Technical University named Yu.A. Gagarin
Saratov, Politehnicheskaya st., 77

Bolysheva Nadezhda Nikolaevna

Candidate of Philosophical Sciences, associate Professor,
Director of branch, Siberian State Aerospace University
named M.F. Reshetnev (branch)
Zelenogorsk, Gagarina st., 18

Volosova Elena Vladimirovna

Candidate of Biological Sciences, associate Professor
Stavropol State Agrarian University
Stavropol, Zootechnical alley, 12

Druzhinina Anna Valentinovna

Candidate of Juridical Sciences, associate Professor,
Vice Rector, International Innovative University
Sochi, Ordzhonikidze st., 10 A

Duplinskaya Elena Borisovna

Candidate of Economic Sciences, associate Professor
Siberian State University of Railway Transport
Novosibirsk, D. Kovalchuk st., 191

Zhumadilov Bulat Zhulharnaevich

Candidate of Biological Sciences, associate Professor
Pavlodar State Pedagogical Institute
Kazakhstan, Pavlodar, Mira st., 60

Izhoykin Dmitriy Aleksandrovich

Candidate of Physico-mathematical Science, senior Researcher
Centre for Modern Technologies
Tomsk, Sovetskaya st., 37 A

Kuznetsov Evgeniy Gennadyevich

Candidate of Pedagogical Sciences, associate Professor
Kaliningrad State Technical University
Kaliningrad, Molodegnaya st., 6

Kulazhnikov Vadim Vladimirovich

Candidate of Juridical Sciences, associate Professor
Far Eastern Law Institute of the Russian Interior Ministry
(branch)
Vladivostok, Kotelnikova st., 2

Levin Evgeny Vladimirovich

Candidate of Physical and Mathematical Sciences,
general Director
Scientific Research and Design Institute of Ecological Problems
Orenburg, Caravannaya st., 6 A

Myznikova Tatiana Nikolaevna

Candidate of Economic Sciences, associate Professor
South Ural State University
Chelyabinsk, Lenin ave., 85

Novikova Irina Viktorovna

Candidate of Economic Sciences, associate Professor, head of
Department, Moscow Academy of Business under the
Government of Moscow (branch)
Blagoveschensk, Lenin st., 27

Oksikbayev Berikzhan Kilishbekovich

Candidate of Biology Sciences, head of Department
Zhetysu State University named of I. Zhansugurov
Kazakhstan, Tal dykorgan, Zhansugurov st., 187 A

Редакционная коллегия

Сагитов Рамиль Фаргатович

Кандидат технических наук, доцент, начальник отдела
Научно-исследовательский и проектный институт
экологических проблем
г. Оренбург, ул. Караванная, 6 А

Смирнов Виктор Владимирович

Кандидат технических наук, доцент
Тверской государственный технический университет
г. Тверь, наб. А. Никитина, 22

Султанова Нургуль Камильевна

Кандидат педагогических наук, доцент
Государственный университет им. Шакарима
Казахстан, г. Семей, ул. Глинки, 20 А

Суханова Майя Викторовна

Кандидат технических наук, доцент
Донской государственный аграрный университет
г. Зерноград, ул. им. Ленина, 21

Хоронек Светлана Евгеньевна

Кандидат биологических наук, доцент
Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва
г. Саранск, ул. Ульянова, 26 А

Чернецов Владимир Иванович

Доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой
Московский государственный университет технологий и
управления им. К.Г. Разумовского (филиал)
г. Пенза, ул. Красная, 38

Чувакина Лариса Германовна

Кандидат экономических наук, доцент
Финансовый университет при Правительстве РФ
г. Москва, Ленинградский пр., 49

Шамрова Елена Александровна

Кандидат медицинских наук, доцент
Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва
г. Саранск, ул. Ульянова, 26 А

Editorial board

Sagitov Ramil Fargatovich

Candidate of Technical Sciences, associate Professor,
head of Department
Research and Design Institute of Ecological Problems
Orenburg, Caravannaya st., 6 A

Smirnov Viktor Vladimirovich

Candidate of Technical Sciences, associate Professor
Tver State Technical University
Tver, A. Nikitin emb., 22

Sultanova Nurgul Kamilevna

Candidate of Pedagogical Sciences, associate Professor
State University named Shakarim
Kazakhstan, Semey, Glinka st., 20 A

Sukhanova Maya Viktorovna

Candidate of Technical Sciences, associate Professor
Don State Agrarian University
Zernograd, Lenin st., 21

Horoneko Svetlana Evgenievna

Candidate of Medical Sciences, associate Professor
Ogarev Mordovia State University
Saransk, Ulyanov st., 26 A

Tchernetsov Vladimir Ivanovich

Doctor of Technical Sciences, Professor, head of Department
Moscow State University of Technology and Management
named K.G. Razumovsky (branch)
Penza, Krasnaya st., 38

Chuvakhina Larisa Germanovna

Candidate of Economic Sciences, associate Professor
Financial University under the Government of the RF
Moscow, Leningrad ave., 49

Shamrova Elena Aleksandrovna

Candidate of Medical Sciences, associate Professor
Mordovia State University named N.P. Ogarev
Saransk, Ulyanov st., 26 A

Содержание

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ	9
Гацко М.Ф. Наукограды и инновационные территориальные кластеры Московской области как фактор социально-экономического развития региона	9
Перлов М.С., Киселев В.В. Использование моделей общего экономического равновесия для неравновесных экономик	20
ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ	25
Беспалов Н.Н., Капитонов С.С., Ильин М.В., Григорович С.Ю. Описание модели силового диода в состоянии высокой проводимости	25
Капустин В.И., Ли И.П., Свитов В.И., Шуманов А.В., Турбина А.В., Захаров А.К. Электронная структура оксидной фазы металлопористых и «скандантных» катодов СВЧ приборов.....	32
Крюков О.В. Микроконтроллерное управление электроприводами газоперекачивающих агрегатов.....	42
Надеждин Е.Н. Оценка эффективности механизма защиты сетевых ресурсов на основе игровой модели информационного противоборства.....	49
Спектор В.Б., Шестакова А.А., Торговкин Я.И., Спектор В.В. Обобщение данных о криолитозоне на инженерно-геологической карте Республики Саха (Якутия) масштаба 1:1 500 000.....	59
Шабельская Н.П., Власенко А.И. Синтез наноразмерного хромита цинка и его каталитические свойства.....	74
НАУКИ О ЗЕМЛЕ	80
Арьков Р.В. Исследование проблемы очистки хозяйственно-бытовых сточных вод в Оренбургском регионе.....	80
ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ	86
Воронков С.С. Уточнение второго закона Ньютона.....	86

Contents

Gatsko M.F. Research Campus and innovative regional clusters of Moscow region as a factor of socio-economic development of the region.....	9
Perlov M.S., Kiselev V.V. Using a general equilibrium model for the non-equilibrium economy	20
Bespalov N.N., Kapitonov S.S., Ilyin M.V., Grigorovich S.Y. Description of the model of the power diode in high conductivity state.....	25
Kapustin V.I., Lee I.P., Svitov V.I., Shumanov A.V., Turbina A.V., Zakharov A.K. Electronic Structure of Metal-porous and “Scandate” MW-devices Cathodes.....	32
Kryukov O.V. Microcontroller control of electric drives of gas-distributing units	42
Nadezhdin E.N. Evaluation of the effectiveness of the protection mechanism of network resources based gaming model of information warfare.....	49
Spector V.B., Shestakova A.A., Torgovkin Y.I., Spector V.V. Permafrost Information in the Engineering Geological Map of the Republic of Sakha (Yakutia), Scale 1:1,500,000.....	59
Shabelskaya N.P., Vlasenko A.I. Synthesis of nano-sized chromite of zinc and its catalytic properties.....	74
Arkov R.V. Research issues treatment of domestic sewage in Orenburg region.....	80
Voronkov S.S. Refinement of Newton's second law	86

DOI: 10.17117/nv.2015.02.009

Поступила (Received): 04.05.2015

dpo@nog.ranepa.ru

Гацко М.Ф.
Наукограды и инновационные территориальные
кластеры Московской области как фактор
социально-экономического развития региона

Gatsko M.F.
Research Campus and innovative regional clusters of Moscow
region as a factor of socio-economic development of the region

В статье рассматриваются проблемы становления и развития наукоградов и инновационных территориальных кластеров Московской области, а также их роль в социально-экономическом развитии региона

Ключевые слова: наукограды, инновации, территориальные кластеры

The article deals with the problems of formation and development of science cities and innovative territorial clusters of the Moscow region, as well as their role in socio-economic development of the region

Key words: research Campus, innovation, territorial clusters

Гацко Михаил Фёдорович

Кандидат философских наук, доцент
Ногинский филиал Российской академии народного хозяйства и государственной службы при Президенте РФ
г. Ногинск, ул. Ключик, 5

Gacko Mikhail Fedorovich

Candidate of Philosophical Sciences,
associate Professor
Noginsk branch of Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration
Noginsk, Kluchik st., 5

Московская область – это исторически сложившийся центр России, обладающий высоким уровнем научного потенциала, проявляющегося практически во всех сферах деятельности. В Подмосковье находится пятая часть научного потенциала Российской Федерации. Здесь сосредоточено свыше 40 исследовательских и учебных институтов Российской Академии Наук, более 70-ти научных учреждений сельскохозяйственного профиля и более 100 научных институтов других отраслей народного хозяйства. Многие из них имеют общероссийское значение. В целом в Подмосковье находится 20% всех научных организаций России, где ведется 13% всех научных разработок страны. Научный потенциал в области чрезвычайно высок – на тысячу жителей приходится 140 специалистов с высшим образованием.

По численности занятых научными исследованиями и разработками Московская область занимает 3 место в России после г. Москвы и г. Санкт-Петербурга.

Научно-технический комплекс региона располагает конкурентными технологиями и кадровым потенциалом в области ядерной энергетики, производства авиационной и космической техники, лазерных технологий, производства новых материалов и биопрепаратов.

Ещё 20 лет назад примерно половина трудоспособного населения Московской области (около 1,5 млн. чел.) была занята в научно-техническом и оборонном комплексе. Сейчас же в научно-промышленном комплексе Подмосковья занято в 2,5 раза меньше людей. В то же время за последние годы число работников, занятых в инновационной сфере, увеличилось – в Европе в 2 раза, в США – в 2 раза, в Юго-Восточной Азии – в 3-4 раза.

В настоящее время на территории Московской области функционирует 174 тысячи предприятий и организаций (4 процента от общего количества в России), на которых заняты около 3 млн. человек (4,5 процента от занятых в России). По объемам внутреннего регионального продукта, отгруженной промышленной продукции, инвестиций в основной капитал и инвестиций из-за рубежа, вводу жилых домов, оборотам оптовой и розничной торговли, объемам платных услуг населению и прибыли организаций Московская область занимает лидирующие места в рейтинге субъектов Российской Федерации. Однако вследствие экономического кризиса и международных санкций экономическое развитие Подмосковья замедлилось. Для повышения экономического роста и обеспечения устойчивости развития экономики необходимы модернизация и инновационное развитие экономики региона. Механизмом решения поставленных задач должно стать увеличение объема инвестиций, создание и модернизация высокопроизводительных рабочих мест, развитие высокотехнологичных и наукоемких отраслей экономики. В рамках реализации инновационной политики в Московской области обеспечивается формирование и развитие территорий с высоким научно-техническим и инновационным потенциалом, в том числе, наукоградов и инновационных территориальных кластеров [5].

1. Наукограды Подмосковья

История российских наукоградов берёт начало в конце 30-х – начале 40-х годов прошлого века. Именно в то время в посёлках ближнего Подмосковья были созданы первые крупные научно-производственные комплексы. Это положило начало Калининграду (Королёву), Балашихе, Жуковскому, Дирижаблестрою (Долгопрудному), Троицкому, Фрязино. Новый этап в развитии подмосковных наукоградов – послевоенное время. Главными направлениями развития военно-промышленного комплекса стали уже не артиллерия и авиация, а ракетно-космическая и атомная программы.

В Московской области появились десятки специализированных научных городков, занимающихся разработкой ракетного-космического и атомного проектов СССР. Но с распадом советской системы и ее военно-промышленного комплекса, города, работавшие на него, пострадали одни из первых. Резкое сокращение государственных оборонных заказов, разрушение производства, сокращение НИИ и КБ, деградация социальной и жилищно-коммунальной инфра-

структуры – всё это с лихвой испытали Королёв, Дубна, Реутов, Фрязино, Черноголовка и другие научные центры Подмоскovie. В 90-е годы произошла существенная деградация научных ресурсов многих уникальных научных городов. Так, в связи с нехваткой достойно оплачиваемых рабочих мест, сегодня из 4,5 млн трудоспособного населения Подмоскovie 1,5 млн человек ездят на работу в Москву и соседние регионы. Московская область в связи с этим несет значительные экономические и иные потери.

В этой связи целесообразно использовать и развивать наукоградский потенциал Подмоскovie. Ведь в Московской области расположены восемь из 13 наукоградов Российской Федерации, в их числе Дубна, Жуковский, Королёв, Протвино, Пущино, Реутов, Фрязино и Черноголовка.

Таблица 1. Города Московской области, имеющие статус наукограда

	Королёв	Дубна	Реутов	Фрязино	Пущино	Жуковский	Протвино	Черноголовка
Статус наукограда	с 2001 года	с 2001 года	с 2003 года	с 2003 года	с 2005 года	с 2007 года	с 2008 года	с 2008 года
Население (на 01.01.15)	221 284	75 218	94 356	58 864	21 229	107 791	37 252.	23 518
Область научной деятельности	Космическая отрасль	Ядерная физика	Ракетно-космическая отрасль	Радиоэлектроника, медицина	Биология	Авиация	Физика	Физика, приборостроение
Основные предприятия	РКК «Энергия». ЦНИИ-Маш. НПО ИТ Корпорация Тактическое Ракетное Вооружение	Объединенный институт ядерных исследований. НИИ Атолл. ООО «Микротехнология»	НПО «Машиностроения» Бизнес-инкубатор. Реутовский инновационный центр	НПП «Исток». Фокус (светодиоды)	Научный центр биологический исследований, 9 НИИ (биохимии, белка и др.) и 1 обсерватория РАН. Филиал МГУ	НИИ Приборостроения. ЦАГИ им. Жуковского, НИИ Агат (приборы самонаведения для ракет). Летно-исследовательский институт Громова	Институт физики высоких энергий. Филиал института им. Лебедева РАН	Научный центр РАН. НТЦ Электронтех. РАН, производство телекоммуникационной аппаратуры
сайт	www.korolev.ru	www.naukograd-dubna.ru	www.reutov.net	www.fryazino.org	www.puschino.ru	www.zhukovskiy.ru	www.protvino.ru	www.chernogolovka.net

Московская область стала базовым регионом Российской Федерации для экспериментальной отработки механизма управления инновационной деятельностью и государственной политикой в отношении наукоградов. Само появление термина «наукоград» связано с городом Жуковский Московской области, где в 1991 году создавалось движение «Союз развития наукоградов».

В соответствии с Федеральным законом от 7 апреля 1999 года № 70-ФЗ «О статусе наукограда Российской Федерации» **наукоград Российской Федерации** – муниципальное образование со статусом городского округа, имеющее высокий научно-технический потенциал, с градообразующим научно-производственным комплексом.

Согласно первой редакции Федерального закона «О статусе наукограда Российской Федерации», статус наукограда присваивался Президентом Российской Федерации по представлению Правительства Российской Федерации на срок до 25 лет муниципальному образованию, имеющему градообразующий научно-производственный комплекс, одновременно утверждалась программа его развития. В таком порядке статус был присвоен первым городам-наукоградом: Обнинску и Дубне, а в последующем – городским округам Фрязино, Реутов, Королёв. В 2004 году Государственная Дума приняла Федеральный закон от 22 августа 2004 г. № 122-ФЗ, в соответствии с которым присвоение статуса наукограда было отнесено к компетенции Правительства Российской Федерации, а срок установления статуса стал составлять 5 лет.

Наукограды Московской области имеют весьма широкий спектр специализаций как в фундаментальной, так и в прикладной науке:

- **Дубна:** ядерная физика, физико-технические исследования, нанотехнологии, информационные, био- и медицинские технологии, композиционные материалы;

- **Жуковский:** конструкторские разработки, производство и испытания авиационной и аэрокосмической техники;

- **Королёв:** ракетно-космическая отрасль, центр управления полетами;

- **Протвино:** физика высоких энергий, электрофизика, ускорительная техника, медицинские технологии;

- **Пушино:** научный центр РАН (биология, биофизика, биохимия, геномная и клеточная инженерия, радиоастрономия);

- **Реутов:** оборонные ракетно-космические комплексы, ПВО, противокорабельные технологии;

- **Фрязино:** сверхвысокочастотная электроника, радиолокационные, радиорелейные технологии, СВЧ-приборы;

- **Черноголовка:** научный центр РАН (химическая физика, медицина, материаловедение, геология, физика высокотемпературной сверхпроводимости).

Поддаляющее большинство Подмосковных научных центров связано с авиацией и ракетно-космической отраслью. Многие из них сыграли выдающуюся роль в отечественном научно-техническом развитии.

Так, наукоград Жуковский является лидером отечественного авиастроения, здесь находятся такие всемирно известные научно-исследовательские и испытательные центры, как Центральный аэрогидродинамический институт им. Н.Е. Жуковского (ЦАГИ) и Летно-исследовательский институт им. М.М. Громова.

Всемирно известен подмосковный Звездный городок – городское поселение, где находится Центр подготовки космонавтов.

Основным предприятием г. Королёва является Российская космическая корпорация «Энергия» – ведущая российская аэрокосмическая фирма, разработчик программы «Энергия–Буран» и других космических программ. В этом же городе находится Центр управления пилотируемыми полетами (ЦУП). В пределах этого наукограда сосредоточено ещё несколько предприятий космической отрасли, а в вошедшем в 2014 году в состав г. Королёва бывшем городском округе,

а ныне микрорайоне Юбилейный, размещены научно-исследовательские институты, занимающиеся вопросами стратегических ракетных вооружений, а также проблемами воздушно-космической обороны.

Правительством Московской области во взаимодействии с администрациями наукоградов Московской области осуществляются мероприятия по поддержке и мониторингу реализации инвестиционных и инновационных проектов:

- национального центра авиастроения в г. Жуковском Московской области;
- научно-производственного комплекса оптоволоконных и лазерных технологий «Фотоника» в г. Фрязино Московской области;
- научно-производственного комплекса по производству медицинской техники для плазмафереза крови «Бета» в г. Дубне Московской области;
- инновационного биотехнологического кластера в г. Пущино Московской области;
- протонных терапевтических комплексов Физико-технического центра Физического Института имени П.Н. Лебедева Российской академии наук в г. Протвино и г. Пущино Московской области;
- инновационных проектов «Терасенс» и национальной сети биологического скрининга в г. Черноголовке Московской области и других.

Московская область стала победителем нескольких федеральных конкурсов, в том числе по пополнению венчурного фонда, созданию и развитию инфраструктуры поддержки предпринимательства в научно-технической сфере, поддержки малых предприятий, производящих товары, работы и услуги, предназначенные для экспорта. Значительным потенциалом обладают Дубна, Жуковский, Королев, Реутов, где расположены современные бизнес-инкубаторы и инновационные центры.

В наукоградах Московской области планируется разместить площадки для новых промышленных производств. Так, в Пущино предполагается открытие фармацевтических предприятий на 64 гектарах и к площадке уже подведены необходимые коммуникации.

В особой экономической зоне городского округа Дубна Московской области планируется развивать информационные и ядерно-физические технологии. Здесь будет создан крупнейший в Российской Федерации центр программирования, который сможет конкурировать с аналогичными центрами в Индии и Китае. Зарегистрированы первые резиденты, учредителями которых являются ведущие российские компании, успешно развивающие научно-технологические направления, определяющие облик особой экономической зоны в городском округе Дубна.

18 декабря 2014 года в Доме Правительства Московской области (г. Красногорск) состоялся первый форум наукоградов Московской области, в котором приняли участие 128 человек, представляющие органы власти, деловые круги, научные и общественные организации наукоградов Российской Федерации, расположенных на территории Московской области и других научно-промышленных муниципальных образований Московской области. Форума определил

пути стратегического развития наукоградов как точек роста региональной экономики.

2. Инновационные территориальные кластеры Подмосковья

Инновационный территориальный кластер – совокупность размещенных на ограниченной территории предприятий и организаций (участников кластера), которая характеризуется наличием:

- объединяющей участников кластера научно-производственной цепочки в одной или нескольких отраслях;
- механизма координации деятельности и кооперации участников кластера;
- синергетического эффекта, выраженного в повышении экономической эффективности и результативности деятельности каждого предприятия или организации за счет высокой степени их концентрации и кооперации.

28 августа 2012 г. поручением Председателя Правительства Российской Федерации №ДМ-П8-5060 был утвержден перечень инновационных территориальных кластеров. В этот перечень включены 25 территориальных кластеров, определенных в рамках конкурсного отбора, осуществленного в рамках деятельности Рабочей группы по развитию частно-государственного партнерства в инновационной сфере при Правительственной комиссии по высоким технологиям и инновациям, в соответствии с поручением Президента Российской Федерации по итогам заседания президиума Государственного совета Российской Федерации от 11 ноября 2011 г., а также решения Правительственной комиссии по высоким технологиям и инновациям от 30 января 2012 г.

В Московской области в настоящее время развиваются три инновационно-территориальных кластера: 1) кластер ядерно-физических и нанотехнологий в Дубне; 2) Биотехнологический инновационный территориальный кластер в Пущино; 3) Кластер "Физтех XXI" (г. Долгопрудный, г. Химки).

Таблица 2. Инновационные территориальные кластеры Московской области

Специализация	Организатор-координатор	Контакты
1. Кластер ядерно-физических и нанотехнологий в г. Дубне		
Ядерные технологии, новые материалы	ЗАО «Международный инновационный нанотехнологический центр»	http://dubna-cluster.ru/
2. Биотехнологический инновационный территориальный кластер Пущино		
Медицина и фармацевтика, биотехнологии	НП «Содействие развитию биотехнологического кластера «Пущино»	http://biotech-cluster.pushchino.org/
3. Кластер "Физтех XXI" (г. Долгопрудный, г. Химки)		
Новые материалы, медицина и фармацевтика, информационно-коммуникационные технологии	НП «Центр инновационного развития Биофармацевтического кластера Северный»	http://pharmcluster.ru/

Дубна – подмосковный наукоград с особой экономической зоной, ведущий научный и инженерный центр с мировой известностью. Из семи синтезированных в мире за последние 15 лет новых, ранее неизвестных элементов таблицы

Менделеева, все семь синтезированы в Дубне. В этой связи конкурентоспособность кластера, располагающегося на территории г.Дубна, обусловлена значительным научным, научно-производственным и организационным потенциалом, а также развитой инновационной инфраструктурой г. Дубна. В рамках кластера создана особая экономическая зона, нанотехнологический центр «Дубна», инновационный бизнес-инкубатор, международный инновационный центр нанотехнологий СНГ. Совокупная выручка предприятий-участников кластера от продаж несырьевой продукции в 2016 году запланирована на уровне 37,3 млрд. руб.

Постановлением Правительства Московской области от 23 сентября 2013 г. № 755/42 утверждена программа Правительства Московской области "Развитие инновационного территориального кластера "Кластер ядерно-физических и нанотехнологий в г. Дубне" на 2013 – 2015 годы". Указанная программа направлена на создание благоприятных условий для развития инновационного территориального кластера в г. Дубне, способствующих развитию реального сектора экономики, пополнению консолидированного бюджета Московской области, обеспечению занятости населения области. Общий объем средств, направляемых на реализацию мероприятий программы, составляет 12738328,8 тыс. рублей, из них: средства бюджета Московской области – 410291 тыс. рублей, средства федерального бюджета – 192427,8 тыс. рублей, средства бюджета г. Дубны – 5110 тыс. рублей, средства – 12130500 тыс. рублей. В результате реализации мероприятий программы планируется достичь общего объема выручки от продажи продукции (работ, услуг) участниками названного кластера на внешнем рынке в размере 1549,6 млн. Рублей [6].

Также Постановлением Правительства Московской области от 21 октября 2013 г. № 860/44 утверждена программа Правительства Московской области по развитию инновационного территориального биотехнологического кластера Пущино на 2013 – 2015 годы. Указанная программа направлена на развитие реального сектора экономики, обеспечение занятости населения, пополнение консолидированного бюджета области, повышение качества жизни населения, укрепление позиций в глобальной экономике. Определено, что Министерство инвестиций и инноваций является уполномоченным органом исполнительной власти Московской области, осуществляющим взаимодействие с Министерством экономического развития Российской Федерации. Общий объем средств, направляемых на реализацию мероприятий программы, составляет 17 239 932 тыс. рублей, из них: средства федерального бюджета – 3 068 756 тыс. рублей, средства бюджета городского округа Пущино – 13 032 тыс. рублей, средства из внебюджетных источников – 14 063 500 тыс. рублей. Закреплена характеристика состояния и проблемы названного кластера. В целом, названная программа направлена на создание благоприятных условий для развития инновационного территориального кластера [5].

Создание инновационного кластера на базе Московского физико-технического института (МФТИ) осуществляется в г. Долгопрудном. Проект "Физтех XXI" предполагает создание благоприятных условий для раскрытия научного и

творческого потенциала студентов и преподавателей МФТИ. Для этого предполагается развитие инновационных кластеров и высокотехнологичных предприятий вокруг университета, формирование комплексного плана развития территории для создания комфортной современной среды, транспортной, социальной, научно-исследовательской и технологической инфраструктуры.

Ядром кластера "Физтех XXI" является Московский физико-технический институт (государственный университет) (МФТИ, также известный как Физтех) – ведущий технический университет России как по качеству образовательной подготовки выпускников, так и по научному потенциалу. Ключевые участники кластера – это высокотехнологичные, устойчиво развивающиеся компании и организации, занимающие лидирующие позиции в своих сегментах рынка, значительная часть которых создана и/или возглавляется выпускниками МФТИ.

Стоимость проекта «Физтех XXI» в г. Долгопрудный может составить порядка 1,5 млрд рублей. Школа физико-математической направленности позволит обучаться более 700 ученикам. Кроме того, при школе будет пансион на 300 мест. Источником финансирования проекта "Физтех-XXI" будет консолидированный бюджет: федеральный, региональный и городского округа Долгопрудный. Планируется привлечь и внебюджетные источники.

Результатом реализации проекта инновационного территориального кластера «Физтех XXI» должно стать:

Приращение территории за счет земельных участков и объектов недвижимости федеральной общей площадью не менее 500 Га.

Вхождение в ТОП-100 международных рейтингов лучших университетов мира.

Создание на территории кластера не менее 40 тыс. высокотехнологичных рабочих мест.

Создание не менее 100 новых высокотехнологичных бизнесов с суммарной капитализацией не менее 450 млрд. рублей.

Организация не менее 50 лабораторий под руководством ведущих ученых.

В результате ожидается следующий интегральный эффект от реализации программы развития инновационного территориального кластера «Физтех XXI»:

1. Подготовка не менее 3000 высококвалифицированных специалистов.
2. Создание не менее 100 высокотехнологичных бизнесов под руководством выпускников МФТИ.
3. Создание экспериментального многодиапазонного центра космической связи с высокопроизводительным вычислительным комплексом для предоставления высокоскоростного доступа широкому кругу потребителей.
4. Разработка не менее 10 инновационных программ и решений в области компьютерных технологий.
5. Разработка не менее 5 инновационных, 50 импортозамещающих лекарственных препаратов и 5 биомедицинских технологий лечения и диагностики.
6. Разработка не менее 5 новых или усовершенствованных технологий и продуктов для военно-промышленного комплекса России.

3. Налоговые льготы, предоставляемые инвесторам, осуществляющим инвестиционную деятельность в Московской области

Закон Московской области от 24 ноября 2004 г. № 151/2004-ОЗ "О льготном налогообложении в Московской области" классифицирует региональные инвестиционные проекты следующим образом:

стратегический инвестиционный проект Московской области – инвестиционный проект, в целях реализации которого инвестиции осуществляются в создание, реконструкцию, модернизацию объектов основных средств, находящихся на территории Московской области, реализация которого обеспечивает положительный экономический и социальный эффект для Московской области, общий объем инвестиций для реализации которого в течение 5 пяти лет должен составить не менее 5 миллиардов рублей, и осуществляемый в соответствии с соглашением о реализации инвестиционного проекта;

приоритетный инвестиционный проект Московской области – инвестиционный проект, в целях реализации которого инвестиции осуществляются в создание, реконструкцию, модернизацию объектов основных средств, находящихся на территории Московской области, реализация которого обеспечивает положительный экономический и социальный эффект для Московской области, общий объем инвестиций для реализации которого в течение первых 3 лет должен составить не менее 2 миллиардов рублей, и осуществляемый в соответствии с соглашением о реализации инвестиционного проекта;

Таблица 3. Налоговые льготы в зависимости от характера и масштабов инвестиционного проекта в Московской области

Масштаб инвестиционного проекта	Предоставляемые налоговые льготы
стратегический инвестиционный проект Московской области	1. Налоговая льгота в виде снижения ставки налога на прибыль на 4,5% – на 7 налоговых периодов, но не более предполагаемого срока окупаемости проекта. 2. Налоговая льгота в виде снижения ставки налога на имущество, созданного и (или) приобретенного в целях реализации проекта: 0 % – в первый налоговый период; 0,5 % – в период со второго по пятый налоговый период включительно; 1,5 % – в период с шестого по восьмой налоговый период включительно.
приоритетный инвестиционный проект Московской области	1. Налоговая льгота в виде снижения ставки налога на прибыль на 4,5% – на 5 налоговых периодов, но не более предполагаемого срока окупаемости проекта. 2. Налоговая льгота в виде снижения ставки налога на имущество, созданного и (или) приобретенного в целях реализации проекта: 0 % – в первый налоговый период; 0,8 % – в период со второго по третий налоговый период включительно; 1,7 % – в период с четвертого по пятый налоговый период включительно.
значимый инвестиционный проект Московской области	Инвестор, реализующий значимый инвестиционный проект Московской области, освобождается от уплаты налога на имущество на один налоговый период.

значимый инвестиционный проект Московской области – инвестиционный проект, в целях реализации которого инвестиции осуществляются в создание, реконструкцию, модернизацию объектов основных средств, находящиеся на территории Московской области, реализация которого обеспечивает положительный экономический и социальный эффект для Московской области, общий объем инвестиций для реализации которого в течение первых 3 лет должен составить не менее 300 миллионов рублей, и осуществляемый в соответствии с соглашением о реализации инвестиционного проекта [4].

Таким образом в Московской области положено начало процессу системной поддержки наукоградов и инновационных территориальных кластеров, в основе которой лежат механизмы, сочетающие отраслевые, ведомственные интересы с интересами субъектов Российской Федерации и органов местного самоуправления по развитию территорий.

Однако до настоящего времени органы местного самоуправления наукоградов ещё не наделены дополнительными полномочиями по управлению наукоградскими территориями и инновационными территориальными кластерами. По нашему мнению назрела необходимость наделения органов местного самоуправления наукоградов отдельными государственными полномочиями в реализации научно-технической и инновационной политики.

Список используемых источников:

1. Федеральный закон от 7 апреля 1999 г. № 70-ФЗ «О статусе наукограда Российской Федерации» // Собрание законодательства Российской Федерации от 12 апреля 1999 г., № 15, ст. 1750.
2. Федеральный закон от 23 августа 1996 г. № 127-ФЗ «О науке и государственной научно-технической политике» // Собрание законодательства Российской Федерации от 26 августа 1996 г. № 35, ст. 4137.
3. Постановление Правительства Российской Федерации от 25 ноября 2004 г. № 681 «Об утверждении Порядка рассмотрения предложений о присвоении муниципальному образованию статуса наукограда Российской Федерации и прекращении такого статуса» // «Российская газета» от 1 декабря 2004 г., № 266.
4. Закон Московской области от 24 ноября 2004 г. № 151/2004-ОЗ "О льготном налогообложении в Московской области" (принят постановлением Московской областной Думы от 24 ноября 2004 г. № 10/118-П) // "Ежедневные новости. Подмосковье" от 27 ноября 2004 г., № 226.
5. Постановление Правительства Московской области от 21 октября 2013 г. № 860/44 "Об утверждении программы Правительства Московской области "Развитие инновационного территориального кластера "Биотехнологический инновационный территориальный кластер Пушкино" на 2013 – 2015 годы" // "Ежедневные новости. Подмосковье" от 13 ноября 2013 г., № 213.
6. Постановление Правительства Московской области от 23 сентября 2013 г. № 755/42 "Об утверждении программы Правительства Московской области "Развитие инновационного территориального кластера "Кластер ядерно-физических и нанотехнологий в г. Дубне" на 2013 – 2015 годы" // "Ежедневные новости. Подмосковье" от 24 октября 2013 г., № 199.

References:

1. Federal law dated 7 April, 1999 № 70-FZ "About the status of science town of the Russian Federation" // collected legislation of the Russian Federation from April 12, 1999, № 15, article 1750.
2. Federal law of 23 August 1996 No. 127-FZ "On science and state scientific and technical policy" // collected legislation of the Russian Federation from August 26, 1996, № 35, item 4137.
3. The decree of the government of the Russian Federation of 25 November 2004 No. 681 "About approval of the Procedure for consideration of offers on assignment of the municipality of the status of science town of the Russian Federation and the termination of such status" // "Rossiyskaya Gazeta" on 1 December 2004, No. 266.

4. The law of Moscow region from 24 November 2004 № 151/2004-OZ "ON preferential taxation in Moscow region" (adopted by the decree of the Moscow regional Duma on November 24, 2004 No. 10/118-P) // "Daily news. The suburbs" from November 27, 2004, No. 226.
5. The decree of the Government of Moscow region from October 21, 2013 No. 860/44 "On approval of the program of Moscow region Government "Development of innovative territorial cluster "Biotechnological innovation territorial cluster Pushchino" on 2013 – 2015" // "Daily news. The suburbs" from November 13, 2013, No. 213.
6. The decree of the government of Moscow region of 23 September 2013 No. 755/42 "On approval of the program of Moscow region Government "Development of innovative territorial cluster ", the Cluster of nuclear and nanotechnology in Dubna" on 2013 – 2015" // "Daily news. The suburbs" from October 24, 2013, No. 199.

© 2015, Гацко М.Ф.

Научноградские и инновационные территориальные кластеры Московской области как фактор социально-экономического развития региона

© 2015, Gatsko M.F.

Research Campus and innovative regional clusters of Moscow region as a factor of socio-economic development of the region

DOI: 10.17117/nv.2015.02.020

Поступила (Received): 16.04.2015

prognoz@prognoz.ru

Перлов М.С., Киселев В.В.
Использование моделей общего экономического
равновесия для неравновесных экономик

Perlov M.S., Kiselev V.V.
Using a general equilibrium model for
the non-equilibrium economy

В статье рассмотрена проблема использования моделей общего экономического равновесия для экономических систем, характеризующихся неравновесным состоянием, вызванных использованием нерыночных механизмов ценообразования, монополизацией некоторых рынков. Показаны пути адаптации моделей данного класса к неравновесным экономикам. Решение обозначенной в статье проблемы представлено с двух сторон: с методологической стороны – определены изменения в наборе базовых переменных модели для неравновесного случая (в модель добавлены переменные, через которые моделируется дефицит/профицит на неравновесных рынках); со стороны численных методов решения одновременных систем нелинейных уравнений, возникающих в моделях общего равновесия (рассмотрен метод сведения системы уравнений к задаче условной оптимизации и применение генетических методов для решения полученной задачи оптимизации). Предложенные методы были апробированы в программном продукте P5-CGEM, который был использован в ряде коммерческих проектов для макроэкономического прогнозирования на базе теории общего экономического равновесия

Ключевые слова: численные методы, генетические алгоритмы

Перлов Максим Сергеевич

Кандидат экономических наук, доцент
ЗАО «ПРОГНОЗ»

г. Пермь, ул. Стахановская, 54 б

Киселев Валерий Васильевич

Кандидат технических наук
Пермский национальный исследовательский
политехнический университет

г. Пермь, Комсомольский пр., 29

The article considers the problem of the use of models of general economic equilibrium to non-equilibrium economic systems. The ways to adapt this model to non-equilibrium economies. Solution of the problems indicated in the article is presented in two ways: methodological side – determined changes in the set of basic variables in the model for the nonequilibrium case (in the model added variables, through which simulated deficit / surplus in the non-equilibrium markets); by numerical methods for solving systems of nonlinear simultaneous equations that arise in models of general equilibrium (considered a method of reducing the system of equations to the problem of constrained optimization and application of genetic methods to solve the resulting optimization problem). The proposed methods were tested in a software product P5-CGI, which has been used in a number of commercial projects for macroeconomic forecasting on the basis of the theory of general equilibrium.

Key words: numeric methods, genetic algorithms

Perlov Maksim Sergeevich

Candidate of Economic Sciences, associate Professor
JSC «PROGNOZ»

Perm, Stakhanovskaya st., 54 b

Kiselev Valeriy Vasilievich

Candidate of Technical Sciences
State National Research Polytechnic University
of Perm

Perm, Komsomolskiy ave., 29

Введение (Introduction)

Модели общего экономического равновесия (далее – МОЭР) получили широкое распространение в середине XX в. Хотя, несомненно, теоретический фундамент, обеспечивающий использование этих моделей, был заложен значительно раньше в XIX в. Леоном Вальрасом. Теория, предложенная Вальрасом, несмотря на все очевидные плюсы, имела и существенные недостатки, которые долгое время затрудняли ее использование в практических целях (отсутствие строгих математических алгоритмов поиска равновесия, нереалистичных предпосылки о совершенной конкуренции, рыночном ценообразовании, идеальном информировании всех участников рынка и др.).

Материалы и методы (Materials and Methods)

Одним из существенных ограничителей использования МОЭР в практических целях является неопределённость равновесного состояния. Возможно ли они? Стабильно ли это состояние? Подходят ли модели этого класса для описания неравновесных экономик с элементами нерыночного ценообразования? Вопросы достижимости и стабильности равновесного состояния рассмотрены в [1], [2] и остаются за рамками данной работы. А вот вопрос применимости МОЭР для описания неравновесных экономических систем хотелось бы рассмотреть подробнее.

Рассмотрим природу дисбалансов спроса и предложения, приводящих к неравновесному состоянию. Является ли нехватка предложения для удовлетворения спроса или наоборот, превышение предложения над спросом основанием для суждения о том, что рынок находится в неравновесном состоянии? Нет, не является. В случае свободного ценообразования на рынке рано или поздно будет сформирована цена, при которой будет найдена равновесная точка. Процесс «нащупывания» новой равновесной цены был описан еще Вальрасом [3]. В первом случае (дефицит) эта цена будет много выше равновесной, во втором (профицит) – много ниже равновесной. Но рынок при этом будет находиться в равновесном состоянии.

Но вот если цена на рынке является фиксированной и не может быть изменена рыночным механизмом аукциониста, описанного Вальрасом. В этом случае можно говорить о неравновесном состоянии. Значит ли это, что модели общего равновесия не применимы для моделирования таких рынков и экономических систем. Нет, не значит. Рассмотрим фрагмент системы уравнений, возникающей в МОЭР для того чтобы понять, как именно можно учесть неравновесные рынки в моделях данного класса.

$$\left\{ \begin{array}{l} \dots \\ F_S^j(X) = F_D^j(X) \\ F_S^j(X) = \sum_{i=1}^n F_{S_i}^j(X) \\ F_D^j(X) = \sum_{k=1}^m F_{D_k}^j(X) \\ \dots \\ f(x_l) = 0 \\ \dots \end{array} \right. \quad (1)$$

где $F_S^j(X)$ – функция предложения товара/услуги на j-ом рынке;

$F_D^j(X)$ – функция спроса на товар/услугу на j -ом рынке;

X – вектор параметров модели, подмножеством которого является вектор цен на товары, услуги и ресурсы;

$F_{S_i}^j$ – функция предложения товара/услуги на j -ом рынке i -ым экономическим агентом;

n – кол-во агентов, предлагающих товар/услугу на j -ом рынке;

$F_{D_k}^j$ – функция спроса на товар/услугу на j -ом рынке k -ым экономическим агентом;

m – кол-во агентов, предъявляющих спрос на товар/услугу на j -ом рынке;

$f(x_l)$ – некоторое уравнение для l -го параметра модели, принадлежащего вектору X .

Неизвестными в данной системе уравнений являются элементы вектора X , отражающие, в том числе цены на товары и услуги. Для учета возникающих на рынке вследствие фиксированной цены дисбалансов в систему уравнений должна быть введена балансирующая переменная $U^j(X)$.

$$\begin{cases} F_S^j(X) = F_D^j(X) + U^j(X) \\ F_S^j(X) = \sum_{i=1}^n F_{S_i}^j(X) \\ F_D^j(X) = \sum_{k=1}^m F_{D_k}^j(X) \\ \dots \\ f(x_l) = 0 \end{cases} \quad (2)$$

где $U^j(X)$ – величина дефицита (профицита) на j – ом рынке

При этом следует отметить, что общее количество уравнений и неизвестных переменных не изменилось. Из списка неизвестных переменных исчезли цены, которые являются фиксированными на неравновесных рынках, а вместо них появились величины дефицита (профицита) на этих же рынках.

Далее рассмотрим другой аспект применения МОЭР. Решением системы уравнений, приведенной в (1) или (2), являются параметры, при которых экономическая система находится в равновесном состоянии. Для данной задачи могут быть использованы как традиционные численные методы решения систем нелинейных уравнений, так и специальные методы, разработанные с учетом специфики МОЭР.

Рассмотрим проблему применения моделей общего равновесия к неравновесным экономическим системам со стороны методов расчета данных моделей для формирования прогнозов. Как уже было сказано выше, на математическом уровне МОЭР сводится к системе нелинейных уравнений, которая может быть решена как классическими методами решения систем нелинейных уравнений (например, методом Ньютона) или узкоспециализированными методами для решения систем уравнений в классе МОЭР (например, алгоритм Скарфа или алгоритм Меррилла).

Независимо от выбранного метода решением данной системы является равновесная точка. Но как интерпретировать результат в том случае, если система уравнений оказалась неразрешимой? Конечно, в первую очередь стоит

проверить и скорректировать настройки численного метода: точность, максимальное количество итераций, начальные приближения. Но если и после этих модификаций система уравнений остается неразрешимой, то возможным выходом в данной ситуации является сведение системы нелинейной уравнений к задаче условной оптимизации.

В качестве целевой функции может выступать сумма квадратов отклонений спроса от предложения. При этом множество функций, участвующих в ограничениях, и множество функций, участвующих в целевой функции, могут пересекаться; а при необходимости добавляются ограничения на знак. В общем случае критерий оптимизационной задачи представлен в (3), а система ограничений в (4)

$$\sum_{j=1}^m (F_D^j(X) - F_S^j(X))^2 \rightarrow \min \quad (3)$$

$$\begin{cases} F_S^j(X) = \sum_{i=1}^n F_{S_i}^j(X) \\ F_D^j(X) = \sum_{k=1}^m F_{D_k}^j(X) \\ f(x_l) = 0 \end{cases} \quad (4)$$

Очевидно, что решением будет не само равновесие, а лишь некоторая точка, близкая к нему, которая может быть использована в качестве начального приближения для решения равновесной системы уравнений, анализа достижимости равновесия. Таким образом, сведение модели общего равновесия к задаче условной оптимизации позволяет получить приближение к равновесному анализу и использовать полученные результаты для дальнейшего анализа.

Сформулированная в (3) и (4) задача условной оптимизации может быть решена классическими численными методами, а также может быть решена с использованием генетических методов, которые имеют ощутимое преимущество перед классическими методами, выраженное его независимости от свойств целевой функции (например, непрерывность, дифференцируемость и др.). Подробнее об использовании генетических методов применительно к задачам условной оптимизации, полученных в моделях общего равновесия рассказано в [4].

Отдельно следует отметить, что описанный метод сведения системы уравнений к задаче условной оптимизации реализован в программном продукте P5-CGEM [5] и был использован в ряде коммерческих проектов, в которых использовался программный продукт P5-CGEM.

Результаты (Results)

Предложенные в статье подходы моделирования неравновесных рынков были использованы в макроэкономической модели общего экономического равновесия Казахстана CGE-KZ-M [6], [7] для описания рынка труда. Данный рынок находится в неравновесном состоянии, поскольку заработная плата в госсекторе является фиксированной.

Проведенная на периоде с 2011 по 2013 гг. верификация модели CGE-KZ-M показала погрешность прогнозирования в пределах от 3 до 5 процентов для в

зависимости от показателей. Например, погрешность прогнозирования ВВП составила 2-3%. Что касается показателя, характеризующего безработицу, то погрешность его прогнозирования составила 3-4%.

Обсуждение и заключение (Discussion and Conclusion)

Таким образом, вышеизложенный материал позволяет с уверенностью утверждать, что слово «равновесие» в названии моделей общего экономического равновесия является скорее отражением истории данного подхода, а не ограничением к использованию для неравновесных экономик.

Список используемых источников:

1. Arrow K.J., Debreu G. Existence of an equilibrium for a competitive economy // *Econometrica*. Jule. 1954. №3. P. 265-290.
2. Debreu G. *The Theory of value: An Axiomatic analysis of economic equilibrium* / New Haven and London: Yale University Press, 1959. P. 115.
3. Вальрас Л. *Элементы чистой политической экономии или теория общественного богатства*. М: Изограв, 2000. 448 с.
4. Перлов М.С., Шульц Д.Н., Шульц М.Н. Вычислимые модели общего равновесия: программная реализация и численные методы // *European Social Science Journal*. 2012. №10(1). С. 428-436.
5. Шульц Д.Н., Перлов М.С., Моделирование общего экономического равновесия с использованием передовых информационных технологий. // *Материалы VII всероссийской научно-практической конференции с международным участием*. Томск: изд-во Томского университета. 2008. Ч. 1. С. 91-94.
6. Шульц Д.Н., Байзаков С.Б., Перлов М.С. Комплекс долгосрочных моделей Республики Казахстан // *Совершенствование стратегического управления корпоративными образованиями и региональная промышленная политика перехода к новой инновационной экономике*. Т. 2. Пермь: Пермский государственный национальный исследовательский университет, 2011.
7. Ощепков И.А., Шульц Д.Н., Перлов М.С. Сценарное прогнозирование социально-экономического развития Республики Казахстан с использованием модели общего экономического равновесия CGE-KZ-M. // *Управление экономическими системами*. 2014.

References:

1. Arrow K.J., Debreu G. Existence of an equilibrium for a competitive economy. *Econometrica*. Jule. 1954. №3. P. 265-290.
2. Debreu G. *The Theory of value: An Axiomatic analysis of economic equilibrium*. New Haven and London: Yale University Press, 1959. P. 115.
3. Walras L. *Elements of pure economics or the theory of social wealth*. M: Izograv, 2000. 448 p.
4. Perlov M.S. Perlov D.N., Schultz M.N. Computable general equilibrium model: software implementation and numerical methods // *European Social Science Journal*. 2012 – №10 (1). P. 428-436.
5. Schultz D., Perlov M. General equilibrium modeling using advanced information technologies. *Proceedings of the VII All-Russian scientific-practical conference with international participation*. Tomsk: Publishing House of Tomsk University. 2008 – Part. 1 p. 91-94.
6. Schultz D., Baizakov S., Perlov M. Complex long-term patterns of Kazakhstan. Improving the strategic management of corporate entities and regional industrial policy transition to the new innovation economy. Vol. 2. Perm: Perm State National Research University, 2011.
7. Oschepkov I.A., Schultz D.N., Perlov M.S. Scenario forecasting of social and economic development of the Republic of Kazakhstan using the model of general economic equilibrium CGE-KZ-M. *Management of economic systems*. 2014.

DOI: 10.17117/nv.2015.02.025

Поступила (Received): 18.04.2015

ka-mgu@mail.ru

**Беспалов Н.Н., Капитонов С.С.,
Ильин М.В., Григорович С.Ю.
Описание модели силового диода
в состоянии высокой проводимости**

**Bespalov N.N., Kapitonov S.S., Ilyin M.V., Grigorovich S.Y.
Description of the model of the power
diode in high conductivity state**

Многие устройства силовой электроники, выпускаемые в настоящее время, основаны на групповом соединении силовых полупроводниковых приборов. Вследствие нестабильности технологического процесса производства возникает разброс значений параметров силовых полупроводниковых приборов, из которых формируются последовательные или параллельные цепи. Для повышения надёжности устройств силовой электроники на основе группового соединения силовых полупроводниковых приборов при его проектировании требуется осуществлять моделирование различных режимов работы с учётом вариации значений параметров приборов. С целью получения адекватных результатов моделирования нужно разработать модели приборов, учитывающие значения геометрических и электрофизических параметров их полупроводниковой структуры. В статье представлена схема замещения силового диода в состоянии высокой проводимости. Получены математические зависимости, описывающие процессы, которые протекают в силовых диодах в состоянии высокой проводимости при различных величинах параметров их полупроводниковой структуры. Сделаны выводы о возможных областях применения разработанной модели

Ключевые слова: силовые диоды, устройства силовой электроники

Many devices of power electronics, is currently produced based on the group connection of power semiconductor devices. Because of the instability of production process parameters a spread of power semiconductors, which are formed from the serial or parallel circuit. To improve the reliability of power electronic devices based on the group connection of power semiconductor devices in its design needed to carry out simulations of different modes of operation, taking into account variations in the parameters of devices. In order to obtain adequate simulation results need to develop models of devices that take into account the values of the geometrical and electrical parameters of semiconductor structures. The article presents a diode equivalent circuit of the power in a state of high conductivity. The mathematical dependences describing the processes that occur in the power diode in high conductivity state at different values of the parameters of the semiconductor structure. Conclusions about the possible applications of the developed model

Key words: power diodes, power electronic devices

Беспалов Николай Николаевич

Кандидат технических наук, зав. кафедрой
Мордовский государственный университет
им. Н.П. Огарёва
г. Саранск, ул. Большевистская, 68

Bespalov Nikolai Nikolaevich

Candidate of Technical Sciences, Head of the
Department
Ogarev Mordovia State University
Saransk, Bolshevistskaya st., 68

Капитонов Сергей Сергеевич

Кандидат технических наук, доцент
Мордовский государственный университет
им. Н.П. Огарёва
г. Саранск, ул. Большевистская, 68

Kapitonov Sergei Sergeevich

Candidate of Technical Sciences, associate Professor
Ogarev Mordovia State University
Saransk, Bolshevistskaya st., 68

Ильин Михаил Владимирович

Кандидат технических наук, доцент
Мордовский государственный университет
им. Н.П. Огарёва
г. Саранск, ул. Большевистская, 68

Ilyin Mikhail Vladimirovich

Candidate of Technical Sciences, associate Professor
Ogarev Mordovia State University
Saransk, Bolshevistskaya st., 68

Григорович Сергей Юрьевич

Студент
Мордовский государственный университет
им. Н.П. Огарёва
г. Саранск, ул. Большевистская, 68

Grigorovich Sergei Yurievich

Student
Ogarev Mordovia State University
Saransk, Bolshevistskaya st., 68

Исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда
(проект №15-19-20057)

Введение (Introduction)

Многие устройства силовой электроники (УСЭ), выпускаемые в настоящее время, основаны на групповом соединении силовых полупроводниковых приборов (СПП) [1–3]. Вследствие нестабильности технологического процесса производства возникает разброс значений параметров СПП, из которых формируются последовательные или параллельные цепи. Для повышения надёжности УСЭ на основе группового соединения СПП при его проектировании требуется осуществлять моделирование различных режимов работы с учётом вариации значений параметров приборов [4–7]. С целью получения адекватных результатов моделирования нужно разработать модели СПП, учитывающие значения геометрических и электрофизических параметры их полупроводниковой структуры (ПС) [8, 9]. Рассмотрим описание модели силового диода в состоянии высокой проводимости (СВП).

Материалы и методы (Materials and Methods)

Схема замещения СПП в СВП представляет собой параллельное соединение нелинейного сопротивления R_F и диффузионной ёмкости C_d р-п перехода (рис. 1) [10–12].

Рис. 1. Схема замещения СПП в СВП

На основании зависимостей, приведённых в [6], нами получено выражение, позволяющее определить R_F при напряжении на СПП в СВП u_F при протекании через него тока i_F в зависимости от электрофизических и геометрических параметров ПС СПП. Согласно [6] прямое напряжение u_F на диоде определяется следующей зависимостью:

$$u_F = \frac{2kT_j}{q} \ln \frac{i_F}{I_{si}} + \frac{1,5kT_j}{q} \exp\left(\frac{W_n}{2L'_p}\right) + \frac{W_n}{16S} i_F, \quad (1)$$

где k – постоянная Больцмана; T_j – температура ПС СПП; q – элементарный электрический заряд; I_{si} – ток насыщения; W_n – толщина n -базы; L'_p – диффузионная длина дырок в n -базе при высоких уровнях инжекции; S – площадь ПС СПП.

Ток насыщения I_{si} описывается формулой [6]:

$$I_{si} = S \frac{qD_p n_i}{L_p}, \quad (2)$$

где D_p – коэффициент диффузии дырок; n_i – концентрация собственных носителей полупроводника; L_p – диффузионная длина дырок.

Зависимость площади ПС СПП от диаметра его ПС d представлена в виде:

$$S = \frac{\pi d^2}{4}. \quad (3)$$

Температурная зависимость концентрации собственных носителей полупроводника n_i определяется выражением [6]:

$$n_i = n_{i0} \exp\left[B\left(1 - \frac{T_{j0}}{T_j}\right)\right], \quad (4)$$

где n_{i0} – концентрация собственных носителей полупроводника при температуре ПС $T_{j0} = 25^\circ\text{C}$; $B \approx 23,6$ для кремния при температуре ПС $T_{j0} = 25^\circ\text{C}$.

Диффузионная длина дырок в n -базе при высоких уровнях инжекции L'_p описывается формулой [6]:

$$L'_p = \sqrt{D\tau_p}, \quad (5)$$

где D – амбиполярный коэффициент диффузии; τ_p – время жизни дырок в n -области.

Амбиполярный коэффициент диффузии D равен [6]:

$$D = \frac{2bD_p}{b+1}, \quad (6)$$

где b – отношение подвижностей электронов и дырок.

Температурная зависимость времени жизни дырок в n -области τ_p определяется выражением [6]:

$$\tau_p = \tau_{p0} \left(\frac{T_j}{T_{j0}}\right)^{1,5}, \quad (7)$$

где τ_{p0} – время жизни дырок в n -области при температуре ПС $T_{j0} = 25^\circ\text{C}$;
Температурная зависимость толщины n -базы W_n описывается выражением:

$$W_n = W_{n0} \left(\frac{T_j}{T_{j0}} \right)^{1,5}, \quad (8)$$

где W_{n0} – толщины n -базы при температуре ПС $T_{j0} = 25^\circ\text{C}$;

Подстановкой вышеописанных формул в выражение (1), определена зависимость значения напряжения u_F от значения тока i_F и величин параметров электрофизических и геометрических параметров ПС СПП:

$$u_F = \frac{2kT_j}{q} \ln \left[\frac{4L_p}{\pi q d^2 D_p n_i \exp \left[B \left(1 - \frac{T_{j0}}{T_j} \right) \right]} \times i_F \right] + \frac{1,5kT_j}{q} \exp \left[\frac{W_n}{2} \sqrt{\frac{b+1}{2bD_p\tau_p}} \right] + \frac{W_n}{4\pi d^2} \left(\frac{T_j}{T_{j0}} \right)^{1,5} \times i_F. \quad (9)$$

Результаты (Results)

На основании полученных выше зависимостей получено математическое описание нелинейного сопротивления R_F и диффузионной ёмкости C_d p - n перехода, параллельное соединение которых составляет схему замещения СПП в СВП (рис. 1).

Нелинейное сопротивление r_F равно:

$$r_F = \frac{u_F}{i_F}. \quad (10)$$

С учётом (2.9) получено выражение, описывающее r_F [6]:

$$r_F = \left(\frac{2kT_j}{q} \ln \left[\frac{4L_p}{\pi q d^2 D_p n_i \exp \left[B \left(1 - \frac{T_{j0}}{T_j} \right) \right]} \times i_F \right] + \frac{1,5kT_j}{q} \exp \left[\frac{W_n}{2} \sqrt{\frac{b+1}{2bD_p\tau_p}} \right] \right) \times (i_F)^{-1} + \frac{W_n}{4\pi d^2} \left(\frac{T_j}{T_{j0}} \right)^{1,5}. \quad (11)$$

Диффузионная ёмкость C_d p - n перехода описывается выражением, приведённым в [6], как:

$$C_d = \frac{q}{kT_j} i_F \tau_p. \quad (12)$$

С учётом температурной зависимости времени жизни дырок в n -области τ_p , заданной формулой (7), получаем из (12):

$$C_d = \frac{q}{kT_j} i_F \tau_p \left(\frac{T_j}{T_{j0}} \right)^{1,5}. \quad (13)$$

Обсуждение и заключение (Discussion and Conclusion)

Полученные зависимости нелинейного сопротивления R_F и диффузионной ёмкости C_d p - n перехода СПП от значений электрофизических и геометрических параметров их ПС приняты за основу модели силового диода в СВП, реали-

зованную в среде моделирования электрических схем Multisim [13–16]. Разработанная модель позволяет исследовать процессы, протекающие в УСЭ на основе группового соединения СПП при вариации значений их параметров [17–20].

Список используемых источников:

1. Беспалов Н.Н., Капитонов С.С. Исследование температурной зависимости тока обратного восстановления силовых полупроводниковых приборов // XL Огаревские чтения : материалы науч. конф.: в 3 ч. Саранск : изд-во Мордов. ун-та, 2012. С. 234-238.
2. Беспалов Н.Н., Капитонов С.С. Исследование вариации величины заряда обратного восстановления силовых полупроводниковых приборов // Электроника и информационные технологии. 2011. Вып. 2 (11).
3. Беспалов Н.Н., Ильин М.В., Капитонов С.С. Испытательная аппаратура для определения электрических и тепловых параметров и характеристик силовых полупроводниковых приборов // Электроника и информационные технологии. 2012. Вып. 1 (12).
4. Bepalov N.N., Ilyin M.V., Kapitonov S.S. Current generator for testing power semiconductor devices in high conduction state // 11th International conference on actual problems of electronic instrument engineering, APEIE. 2012. Novosibirsk: IEEE, 2012. №1. P. 143-147.
5. Беспалов Н.Н., Ильин М.В., Капитонов С.С., Лебедев С.В. Разработка и исследование электротепловых моделей силовых полупроводниковых приборов основных типовых конструкций // Естественные и технические науки. М.: Спутник+, 2011. Вып. №6. С. 405-412.
6. Беспалов Н.Н., Ильин М.В., Капитонов С.С., Лебедев С.В. Моделирование процессов в силовых полупроводниковых приборах при их групповом последовательном включении в среде Multisim // Электроника и электрооборудование транспорта. Томилино: Научно-производственное предприятие «Томилинский электронный завод», 2012. Вып. 4. С. 30-35.
7. Беспалов Н.Н., Капитонов С.С. Выравнивание напряжений на последовательно распределенных силовых полупроводниковых приборах в состоянии низкой проводимости // Нелинейный мир. М.: Радиотехника, 2011. Вып. 8. С. 500-506.
8. Беспалов Н.Н., Ильин М.В., Капитонов С.С., Капитонова А.В. Методика подбора силовых полупроводниковых приборов для групповых последовательных цепей устройств силовой электроники // Научно-технический вестник Поволжья. Казань: Научно-технический вестник Поволжья, 2014. Вып. 1. С. 65-68.
9. Беспалов Н.Н., Ильин М.В., Капитонов С.С., Лебедев С.В. Определение минимальных величин ёмкостей снабберных цепей для ограничения коммутационных перенапряжений на силовых полупроводниковых приборах при их выключении // Естественные и технические науки. М.: Спутник+, 2011. Вып. 6. С. 396-404.
10. Беспалов Н.Н., Евишев А.В., Ильин М.В., Капитонов С.С. Исследование процессов, протекающих в цепях с последовательным групповым соединением силовых полупроводниковых приборов при их выключении // Огарев-online. Технические науки. 2015. № 11.
11. Беспалов Н.Н., Ильин М.В., Капитонов С.С. Аппаратно-программный комплекс для испытания и диагностики силовых полупроводниковых приборов // Труды VIII международной (XIX всероссийской) конференции по автоматизированному электроприводу АЭП-2014 в 2-х томах. Саранск : изд-во Мордов. ун-та, 2014. Т. 1. С. 362-364.
12. Беспалов Н.Н., Капитонов С.С., Пьянзин И.И. Моделирование характеристик силовых полупроводниковых приборов в состоянии низкой проводимости // Электроника и информационные технологии. 2010. Вып. 2 (9).
13. Беспалов Н.Н., Ильин М.В., Капитонов С.С., Матюшкин В.В. Генератор испытательных импульсов для диагностики силовых полупроводниковых приборов в состоянии низкой проводимости // Огарев-online. Технические науки. 2014. № 3.
14. Беспалов Н.Н., Ильин М.В., Капитонов С.С., Смолин А.Н. Обзор устройств для измерения значений параметров и характеристик силовых полупроводниковых приборов в состоянии низкой проводимости // Огарев-online. Технические науки. 2014. № 22.
15. Беспалов Н.Н., Ильин М.В., Капитонов С.С., Лысенков А.Е. Испытательное оборудование на базе технологий компании NATIONAL INSTRUMENTS для определения вольт-амперной характеристики силовых полупроводниковых приборов в состоянии высокой проводимости // Компьютерные измерительные технологии. Материалы I Международного симпозиума. М.: ДМК пресс, 2015. Том 1. С. 97-100.

16. Беспалов Н.Н., Лысенков А.Е., Ильин М.В., Капитонов С.С. Аппаратно-программный комплекс для испытания силовых МДП-транзисторов // Компьютерные измерительные технологии. Материалы I Международного симпозиума. М: ДМК пресс, 2015. Том 1. С. 168-171.
17. Беспалов Н.Н., Ильин М.В., Капитонов С.С. Описание модели силового диода в состоянии низкой проводимости // Вопросы образования и науки: теоретический и методический аспекты: сб. науч. тр. по материалам Междунар. науч.-практич. конф. Тамбов, 2015. С. 20-23.
18. Bepalov N.N., Ilyin M.V., Kapitonov S.S. Equipment for testing and diagnostics of power semiconductor devices // 2015 International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON). Proceedings. Omsk State Technical University. Russia, Omsk, May 21-23, 2015.
19. Bepalov N.N., Ilyin M.V., Kapitonov S.S., Lysenkov A.E. Program for modeling transient off of power semiconductor devices // 2015 International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON). Proceedings. Omsk State Technical University. Russia, Omsk, May 21-23, 2015.
20. Bepalov N.N., Lysenkov A.E., Ilyin M.V., Kapitonov S.S. MOSFETs selection software to form parallel and series connections // 2015 International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON). Proceedings. Omsk State Technical University. Russia, Omsk, May 21-23, 2015.

References:

1. Bepalov N.N., Kapitonov S.S. The temperature dependence of the reverse recovery current of power semiconductor devices. XL Ogarev readings: materials of scientific conference: in 3 parts. Saransk: publisher of Mordovia State University, 2012. P. 234-238.
2. Bepalov N.N., Kapitonov S.S. Study of variation values of reverse recovery charge of power semiconductor devices. Electronics and Information Technology, 2011. Vol. 2 (11).
3. Bepalov N.N., Ilyin M.V., Kapitonov S.S. Test equipment to determine the electrical and thermal parameters and characteristics of power semiconductor devices. Electronics and Information Technology, 2012. Vol. 1 (12).
4. Bepalov N.N., Ilyin M.V., Kapitonov S.S. Current generator for testing power semiconductor devices in high conduction state. 11TH International conference on actual problems of electronic instrument engineering, APEIE 2012. Novosibirsk: IEEE, 2012. №1. P. 143-147.
5. Bepalov N.N., Ilyin M.V., Kapitonov S.S., Lebedev S.V. Development and research of models for electric power semiconductor devices typical basic designs // Natural and Technical Sciences. Moscow: Sputnik +, 2011. Vol. 6. P. 405-412.
6. Bepalov N.N., Ilyin M.V., Kapitonov S.S., Lebedev S.V. Modeling of processes in power semiconductor devices in the series connection of the group in the medium Multisim. Electronics and electrical transport. Tomilino: Tomilino Electronic Factory, 2012. Vol. 4. P. 30-35.
7. Bepalov N.N., Kapitonov S.S. Alignment voltage on sequentially distributed power semiconductor devices in a low conductivity. Nonlinear world. M: Radio, 2011. Vol. 8. P. 500-506.
8. Bepalov N.N., Ilyin M.V., Kapitonov S.S., Kapitonova A.V. Method of selection of power semiconductor devices for group sequential circuits of power electronics devices. Scientific and Technical Gazette of Volga. Kazan: Scientific and Technical Gazette of Volga, 2014. Vol. 1. P. 65-68.
9. Bepalov N.N., Ilyin M.V., Kapitonov S.S., Lebedev S.V. Determination of the minimum capacitance values snubber circuits to limit switching surges on power semiconductor devices when they are turned off. Natural and Technical Sciences. Moscow: Sputnik +, 2011. Vol. 6. P. 396-404.
10. Bepalov N.N., Ilyin M.V., Kapitonov S.S., Evishev A.V. Investigation of the processes occurring in the circuit with a consistent group connection of power semiconductor devices when you turn off the. Ogarev-online. Technical science. 2015. № 11.
11. Bepalov N.N., Ilyin M.V., Kapitonov S.S. Hardware-software complex for testing and diagnostics of power semiconductor devices. Proceedings of the VIII International (XIX All-Russian) Conference on automated electric AEP 2014 in 2 volumes. Saransk: publisher of Mordovia State University, 2014. Vol. 1. P. 362-364.
12. Bepalov N.N., Kapitonov S.S., Pyanzin I.I. Modeling of characteristics of power semiconductor devices in low conductivity state. Electronics and Information Technology. 2010. Vol. 2 (9).
13. Bepalov N.N., Ilyin M.V., Kapitonov S.S., Matyushkin V.V. Generator of test pulse for the diagnosis of power semiconductor devices in low conductivity state. Ogarev-online. Technical science. 2014. № 3.
14. Bepalov N.N., Ilyin M.V., Kapitonov S.S., Smolin A.N. Overview of devices for measuring the values of the parameters and characteristics of power semiconductor devices in a state of low conductivity. Ogarev-online. Technical science. 2014. № 22.
15. Bepalov N.N., Ilyin M.V., Kapitonov S.S., Lysenkov A.E. Test equipment, based on technology of NATIONAL INSTRUMENTS company, to determine the current-voltage characteristics of power semiconductor devices in a

- state of high conductivity. *Computer Measurement Technology. Proceedings of the I International Symposium*. M: DMK press, 2015. Vol. 1. P. 97-100.
16. Bespalov N.N., Lysenkov A.E., Ilyin M.V., Kapitonov S.S. Hardware-software complex for testing power MOSFETs. *Computer Measurement Technology. Proceedings of the I International Symposium*. M: DMK press, 2015. Vol. 1. P. 168-171.
17. Bespalov N.N., Ilyin M.V., Kapitonov S.S. Model description of the power diode in low conductivity state. *Questions of Education and Science: theoretical and methodical aspects: collection of scientific papers on the materials of the International scientific and practical conference. Practical. Conf. Tambov, 2015*. P. 20-23.
18. Bespalov N.N., Ilyin M.V., Kapitonov S.S. Equipment for testing and diagnostics of power semiconductor devices. *2015 International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON). Proceedings. Omsk State Technical University. Omsk, May 21-23, 2015*.
19. Bespalov N.N., Ilyin M.V., Kapitonov S.S., Lysenkov A.E. Program for modeling transient off of power semiconductor devices. *2015 International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON). Proceedings. Omsk State Technical University. Omsk, May 21-23, 2015*.
20. Bespalov N.N., Lysenkov A.E., Ilyin M.V., Kapitonov S.S. MOSFETs selection software to form parallel and series connections. *2015 International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON). Proceedings. Omsk State Technical University. Omsk, May 21-23, 2015*.

© 2015, Беспалов Н.Н., Капитонов С.С., Ильин М.В., Григорович С.Ю.

Описание модели силового диода в состоянии высокой проводимости

© 2015, Bespalov N.N., Kapitonov S.S., Ilyin M.V., Grigorovich S.Y.

Description of the model of the power diode in high conductivity state

DOI: 10.17117/nv.2015.02.032

Поступила (Received): 28.05.2015

mirea@mirea.ru

**Капустин В.И., Ли И.П., Свитов В.И.,
Шуманов А.В., Турбина А.В., Захаров А.К.
Электронная структура оксидной фазы
металлопористых и «сканданых»
катодов СВЧ приборов**

**Kapustin V.I., Lee I.P., Svitov V.I.,
Shumanov A.V., Turbina A.V., Zakharov A.K.
Electronic Structure of Metal-porous and
“Scandate” MW-devices Cathodes**

Методами спектроскопии оптического поглощения и спектроскопии характеристических потерь энергии электронов исследована структура электронных уровней кислородных вакансий и электронная концентрация в оксиде бария, являющегося основным эмиссионно-активным компонентом металлопористых и «сканданых» катодов СВЧ приборов. Проведена расшифровка спектров ХПЭЭ для металлопористого и «сканданного» катодов. Рассчитаны значения электронных концентраций в оксиде бария для металлопористого и «сканданного» катодов. Результаты расчета концентрации кислородных вакансий показывают, что после пропитки вольфрамовой матрицы оксидной фазой концентрация кислородных вакансий в «сканданном» катоде в 1,62 раза меньше, чем в металлопористом катоде. Это связано с большей термической устойчивостью скандата бария по сравнению с алюминатом. Исследована электронная структура стандартного металлопористого катода и «сканданного» катода и установлены два фактора влияния скандия на улучшения эмиссионных свойств «сканданного» катода по сравнению с металлопористым катодом. Это может позволить сформулировать физико-химическую модель работы «сканданного» катода, которая отсутствовала в литературе на протяжении 40 лет после его изобретения

Ключевые слова: металлопористые катоды, электронная концентрация в оксиде

Methods of optical absorption spectroscopy and characteristic electron energy losses spectroscopy is applied for the structure of the electronic levels of the oxygen vacancy and electron concentration in the oxide of barium investigation, which is the main emission-active component of porous metal and "scandate" cathodes for microwave devices. The decoding of the EEL spectra for porous metal and "scandate" cathodes is carried out. The values of electron concentrations in barium oxide for porous metal and "scandate" cathodes are calculated. The results of the calculation show that for impregnated tungsten matrix oxide phase oxygen vacancies concentration in "scandate" cathode is 1.62 times less than in porous metal cathode. This is due to higher thermal stability of barium scandate in comparison with the aluminate. Electronic structure of standard porous metal and "scandate" cathode investigated shows two factors of influence of scandium on the improvement of emission properties "scandate" cathode compared to porous metal cathode. This may allow to formulate a physical and chemical model of "scandate" cathode functioning, which is still absent for 40 years after its invention

Key words: porous metal cathodes, electron concentration in the oxide

Капустин Владимир Иванович

Доктор физико-математических наук, профессор
Московский государственный технический
университет радиотехники, электроники и
информационных технологий
Москва, пр. Вернадского, 78

Ли Илларион Павлович

Кандидат технических наук, начальник центра
Научно-технический центр «Базовые технологии
ЭВП» ОАО «Плутон»
Москва, ул. Нижняя Сыромятническая, 11

Свитов Владислав Иванович

Кандидат химических наук, доцент
Московский государственный технический
университет радиотехники, электроники и
информационных технологий
Москва, пр. Вернадского, 78

Шуманов Алексей Владимирович

Начальник лаборатории
Научно-технический центр «Базовые технологии
ЭВП» ОАО «Плутон»
Москва, ул. Нижняя Сыромятническая, 11

Турбина Анна Владимировна

Инженер
Научно-технический центр «Базовые технологии
ЭВП» ОАО «Плутон»
Москва, ул. Нижняя Сыромятническая, 11

Захаров Анатолий Кузьмич

Кандидат технических наук, доцент
Московский государственный технический
университет радиотехники, электроники и
информационных технологий
Москва, пр. Вернадского, 78

Kapustin Vladimir Ivanovich

Doctor of Physico-mathematical Sciences, Professor
Moscow State Technical University of
Radioengineering, Electronics and Information
Technologies
Moscow, Vernadsky ave. 78

Lee Illarion Pavlovich

Candidate of Engineering Sciences, Chief of Centre
Science-technical centre "EVD Basic Technologies" at
open joint stock company "Pluton"
Moscow, Nizhnyaya Syromyatnicheskaya st., 11

Svitov Vladislav Ivanovich

Candidate of Chemical Sciences, associate Professor
Moscow State Technical University of
Radioengineering, Electronics and Information
Technologies
Moscow, Vernadsky ave. 78

Shumanov Alexey Vladimirovich

Head of laboratory
Science-technical centre "EVD Basic Technologies" at
open joint stock company "Pluton"
Moscow, Nizhnyaya Syromyatnicheskaya st., 11

Turbina Anna Vladimirovna

Engineer
Science-technical centre "EVD Basic Technologies" at
open joint stock company "Pluton"
Moscow, Nizhnyaya Syromyatnicheskaya st., 11

Zakharov Anatolij Kuzmich

Candidate of Engineering Sciences, associate
Professor
Moscow State Technical University of
Radioengineering, Electronics and Information
Technologies
Moscow, Vernadsky ave. 78

Введение (Introduction)

В настоящее время при производстве электровакуумных СВЧ приборов на многих предприятиях электронной промышленности, в том числе в ОАО «Плутон», применяют металлопористые катоды на основе вольфрамовой губки, пропитанной алюминатом бария-кальция. В литературе имеется множество публикаций о свойствах так называемых «скандатных» катодов [1-2], которые при тех же температурах обеспечивают получение на серийных катодах плотности тока до 100–150 А/см². Типичный «скандатный» катод также выполнен на основе вольфрамовой губки, пропитанной алюминатом бария-кальция, содержащим дополнительно 4–5% оксида скандия.

Известно, что ионы кальция, алюминия, скандия, вольфрама в оксиде бария в макроколичествах не растворяются. Данные о пределах растворимости

указанных элементов в оксиде бария в литературе отсутствуют. Поэтому эмиссионные свойства и металлопористого, и «скандатного» катодного материалов будут определяться эмиссионными свойствами оксида бария, на которые влияют микроколичества легирующих элементов (Ca, Al, Sc, W) в объеме и в приповерхностной области зерен, а также отклонение состава оксида бария от стехиометрического соотношения [3-4]. Эти же факторы существенно влияют на спектральные свойства материала в оптическом диапазоне электромагнитного излучения.

При анализе эффекта влияния состава материала на эмиссионные свойства импрегнированного катода целесообразно использовать комплексный подход с параллельным использованием методов оптической и электронной спектроскопии.

Данная работа посвящена экспериментальному исследованию особенностей электронной структуры оксида бария с целью оценки распределения дефектов решетки, определяющих эмиссионные характеристики материалов термокато́дов.

Материалы и методы (Materials and Methods)

На рис. 1 приведена энергетическая диаграмма оксида бария, содержащего только кислородные вакансии [4-5].

Рис. 1. Энергетическая схема верхних электронных зон оксида бария:

- 1 – собственные поверхностные состояния акцепторного типа,
- 3 – собственные поверхностные состояния донорного типа, 2 – поверхностные состояния кислородных вакансий акцепторного типа. N_c – плотность состояний в зоне проводимости, V_1^{--} и V_2^{--} – плотности состояний двухзарядной кислородной вакансии, соответственно, в нижней и верхней подзонах,
- V^- – плотность состояний однозарядной кислородной вакансии,
- E_F – уровень Ферми, E_1 , E_2 , E_D и E_C – энергии переходов между соответствующими электронными уровнями

Известно [6-7], что кислородные вакансии формируют в зонной структуре оксида бария донорные уровни двухзарядных и однозарядных вакансий. При этом значение эффективного заряда вакансий в общем случае может быть меньше соответствующих целочисленных значений. Расщепление электронного уровня обусловлено неупорядоченным распределением двухзарядных кислородных вакансий и атомов легирующих элементов: вольфрама, кальция, алюминия, скандия – в оксиде бария [4, 8]. В табл. 1 приведена схема влияния различных факторов на значение работы выхода и ряд других параметров электронной структуры оксида бария.

Таблица 1. Характер влияния дефектов на электронную структуру BaO

Тип дефекта	Объем			Поверхность		
	Тип уровня	Уровень Ферми	Работа выхода	Тип уровня	Изгиб зон у поверхности	Работа выхода
Кислородная вакансия	Донорный	Резко поднимается	Резко понижается	Акцепторный	Зона изгибается вверх	Немного повышается
Вакансия атомов бария	Акцепторный	Резко «понижается»	Резко повышается	Донорный	Зона изгибается вниз	Немного понижается
Дефект замещения иона Ba ионом Al, W или Os	Акцепторный, частично компенсирует донорные	Понижается незначительно	Повышается незначительно	Донорный, как за счет вакансий ионов Ba, так и за счет ионов примеси	Изгиб зоны вверх уменьшается	Снижается с уменьшением изгиба зоны вверх

Рис. 2. Внешний вид электронного спектрометра высокого разрешения

Электронная структура уровней кислородных вакансий в оксиде бария исследовалась путем регистрации оптического поглощения экспериментальных образцов материалов в диапазоне длин волн 600–1100 нм с использованием оптического спектрометра *T-70+ (UV/VIS)* фирмы *PG Instruments Ltd*. Шаг при развертке спектров составлял 0,5 нм, эффективная ширина щели – 5 нм.

При исследовании электронной концентрации в оксидной фазе катодных материалов методом характеристических потерь энергии электронов был использован электронный спектрометр высокого разрешения (рис. 2). Спектрометр оснащен электронным анализатором высокого разрешения типа сферического зеркала, источником рентгеновского излучения, электронными пушками нескольких типов и позволяет проводить исследования материалов методами Оже-спектрометрии, электронной спектрометрии для химического анализа (ЭСХА) и спектрометрии характеристических потерь энергии электронов (ХПЭЭ).

Технология приготовления образцов для оптической спектроскопии была следующей. В качестве исходных компонентов были использованы компоненты, входящие в состав металлопористых и оксидных катодов: карбонаты бария, кальция, стронция, оксиды алюминия и скандия, а также порошок вольфрама. Порошки были смешаны в молярных пропорциях, в пересчете на чистые оксиды. После тщательного перемешивания компонентов образцы материалов помещались в молибденовые лодочки с алундированным молибденовым вкладышем на никелевых пластинах и спекались «насыпью» в вакууме при температуре 1200 °С в течение 2 ч. Затем спеки были раздроблены в ступке, взяты расчетные навески, из которых прессовались таблетки диаметром 6,6 мм и толщиной 1 мм.

В качестве образцов для исследования спектров ХПЭЭ были использованы образцы стандартного металлопористого катода, в котором вольфрамовая губка пропитывалась оксидной фазой состава $2,5\text{BaO} \cdot 0,4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$, а также модельного металлопористого «скандатного» катода, в котором вольфрамовая губка пропитывалась оксидной фазой состава $2,5\text{BaO} \cdot 0,4\text{CaO} \cdot \text{Sc}_2\text{O}_3$. Температура синтеза оксидных фаз из карбонатов бария-кальция, оксида алюминия и оксида скандия составляла 1450 °С, режим пропитки вольфрамовой губки – 1850 °С в течение 4 мин.

Результаты (Results)

Оптическое поглощение в образцах материалов

Поглощение света в оптической среде, энергетическая диаграмма которой представлена на рис. 1, можно представить в виде:

$$I_{tr} = I_0 \exp \left\{ -x \left[\sum \alpha_i (\text{OH}^-) + \alpha(R) + \alpha(IR) + \alpha(E_1) + \alpha(E_2) + \alpha(E_C) + \alpha(E_D) \right] \right\}. \quad (1)$$

Здесь I_{tr} – интенсивность прошедшего излучения, x – толщина образца, $\alpha_i(\text{OH}^-)$ – коэффициенты поглощения света на трех модах колебаний гидроксильных групп, $\alpha(R)$ – коэффициент рэлеевского рассеяния света, $\alpha(IR)$ – коэффициент поглощения инфракрасного излучения, $\alpha(E_1)$, $\alpha(E_2)$, $\alpha(E_C)$, $\alpha(E_D)$ – коэффициенты поглощения при электронных переходах, обозначенных на рис. 1.

При этом аналитические выражения для рэлеевского рассеяния и инфракрасного поглощения хорошо известны [9].

На рис. 3 в качестве примера приведен спектр поглощения образца оксида бария, очищенный от шумов, из которого вычтены спектры рэлеевского и инфракрасного поглощения [5].

Пики *A*, *B* и *E* относятся к поглощению на гидроксильных группах в BaO, пики *C* и *D* соответствуют переходам, показанным на рис. 1. Отношение площадей пиков *C* и *D* позволяет определить эффективный заряд двухзарядной кислородной вакансии [5], а расстояние Δ между максимумами пиков *C* и *D* – значение эффективной массы электронов на двухзарядной кислородной вакансии. Действительно, в соответствии с [10] относительная эффективная масса электронов m^*/m может быть приближенно представлена в виде

$$\frac{m^*}{m} \approx \frac{mU_g}{\pi^2 \hbar^2 g^2}, \quad (2)$$

где m – масса электрона, g – волновой вектор электрона на границе зоны Бриллюэна, $\hbar$ – постоянная Планка, U_g – возмущающая случайная потенциальная энергия взаимодействия между кислородными вакансиями, приводящая к расщеплению их уровней. При этом величина $g = \pi/a$, где a – параметр кристаллической решетки оксида бария, а величину U_g приближенно можно принять равной $U_g = \Delta/4$.

Рис. 3. Спектр поглощения оксида бария после вычитания спектров рэлеевского и инфракрасного поглощения

Значения параметров электронной структуры в соответствии с рис. 1, в том числе эффективной массы электронов двухзарядной кислородной вакансии и эффективного заряда кислородной вакансии для образцов составов BaO + (0,1Al₂O₃ и BaO) + 0,1Sc₂O₃ приведены в табл. 2. Так как содержание оксида кальция в оксидной фазе стандартного и модельного металлопористого катода мало, то эти же значения указанных выше параметров в первом приближении можно отнести и к катодным материалам на основе оксидных фаз 2,5BaO·0,4CaO·Al₂O₃ и 2,5BaO·0,4CaO·Sc₂O₃.

Таблица 3. Параметры электронной структуры металлопористого и «скандатного» катодов

Параметр	Катод с оксидной фазой 2,5BaO·0,4CaO·Al ₂ O ₃	Катод с оксидной фазой 2,5BaO·0,4CaO·Sc ₂ O ₃
Эффективный заряд вакансии e^* , отн. ед.	1,66	1,46
Расщепление зоны Δ , мэВ	62	25
Эффективная масса m^*/m , отн. ед.	$6,43 \cdot 10^{-4}$	$2,59 \cdot 10^{-4}$
«Глубина» уровня кислородной вакансии $\Delta E_v = (E_1 + E_2)/2$, эВ	1,78	1,78
Ширина запрещенной зоны E_g , эВ	4,71	4,63
$\Delta E_{об.}$, эВ	9,90	10,77
$\Delta E_{пов.}$, эВ	7,07	7,80
$N_{об.}$, М ⁻³	$6,02 \cdot 10^{25}$	$6,12 \cdot 10^{25}$
$N_{пов.}$, М ⁻³	$3,72 \cdot 10^{25}$	$3,90 \cdot 10^{25}$
Объемная концентрация вакансий C_1 , %	1,01	0,63

Характеристические потери энергии электронов

После синтеза материала основной оксидной фазой в металлопористом катоде является сложный оксид состава 3BaO·Al₂O₃, устойчивый до температуры 1750 °С, а в «скандатном» катоде – сложный оксид состава 3BaO·Sc₂O₃, устойчивый до 2050 °С. На этапе пропитки вольфрамовой губки и на следующем этапе активирования катода происходит образование кристаллов оксида бария в результате взаимодействия алюминатов или скандатов бария с вольфрамом. Прямое разложение алюминатов или скандатов на оксиды бария и алюминия или скандия невозможно из-за термодинамических ограничений, а выделение оксида бария в результате взаимодействия алюминатов или скандатов с вольфрамом связано с летучестью оксида вольфрама. При этом «унос» кислорода из оксида бария оксидом вольфрама и обуславливает формирование в оксиде бария кислородных вакансий, ответственных за его термоэмиссионные свойства. Условно уравнение данной реакции, с учетом типа диаграммы состояния «BaO–Al₂O₃», можно записать в виде

где значение x определяет отклонение оксида бария от стехиометрии, а испарение оксида вольфрама сдвигает равновесие реакции (3) вправо.

На рис. 4 приведен спектр ХПЭЭ для металлопористого катода на основе оксидной фазы 2,5BaO·0,4CaO·Al₂O₃ при энергии первичных электронов 1005 эВ.

Для повышения чувствительности при выделении характеристических потерь применяется дифференцирование исходного сигнала, так что по оси y приведена первая производная кривой потерь вторичных электронов по энергии $dN(E)/dE$. Пики характеристических потерь выделены путем разложения спектра на гауссовы компоненты, сумма их площадей равна площади полного спектра.

Рис. 4. Спектр характеристических потерь энергии электронов в металлопористом катоде $W+2,5BaO \cdot 0,4CaO \cdot Al_2O_3$

Так как нестехиометричный оксид бария, содержащий кислородные вакансии, является полупроводником донорного типа, а остальные оксидные фазы в катодном материале – диэлектрики, то характеристические потери в катодном материале обусловлены возбуждением объемных и поверхностных плазмонов, энергии которых, соответственно E_V и E_s , определяются известными выражениями [11]:

$$E_V = \sqrt{\frac{e^{*2} \hbar^2 N_V}{\epsilon \epsilon_0 m^*}}, \quad (4)$$

$$E_s = \sqrt{\frac{e^{*2} \hbar^2 N_s}{2 \epsilon \epsilon_0 m^*}}, \quad (5)$$

где e^* – эффективный заряд кислородной вакансии, m^* – эффективная масса электронов кислородных вакансий, $\hbar$ – постоянная Планка, ϵ_0 – диэлектрическая постоянная, $\epsilon = 3,6$ – высокочастотная диэлектрическая проницаемость оксида бария, N_V – объемная концентрация кислородных вакансий, N_s – поверхностная концентрация кислородных вакансий. Кроме того, потери могут быть обусловлены и межзонным возбуждением, например, с уровня кислородной вакансии или из валентной зоны в зону проводимости. При этом следует учитывать, что ниже дна зоны проводимости имеются экситонные состояния с энергией возбуждения экситонов примерно равной $0,25n$ эВ, где n – целое число, причем нижнее экситонное состояние лежит выше верха валентной зоны примерно на 4,0 эВ [12]. Таким образом, полные потери ΔE на возбуждение плазмонных колебаний можно представить в виде

$$\Delta E = n_1 E_V + n_2 E_s, \quad (6)$$

где n_1 и n_2 – целые числа.

В табл. 3 для примера приведена схема расшифровки некоторых пиков спектра ХПЭЭ для металлопористого катода. Пик 1, на наш взгляд, соответствует потерям на возбуждение электронов с уровня кислородных вакансий в зону про-

водимости с одновременным возбуждением экситона. Пик 2 – потерям на возбуждение электронов из валентной зоны в нижнее экситонное состояние ниже дна зоны проводимости. Остальные пики табл. 2 хорошо описываются пятью рядами в соответствии с соотношением (6) в виде линейных зависимостей.

Таблица 3. Таблица расшифровки спектра ХПЭЭ в металлопористом катоде

№ пика	ΔE , эВ	Ряд:	1	2	3	4	5
1	2,0		$0E_{\text{пов}}$	$0E_{\text{об}}$			
2	4,0				$0E_{\text{пов}} + E_g$		
3	7,2		$1E_{\text{пов}}$				$E_{\text{пов}} + 0E_{\text{об}}$
4	9,7			$1E_{\text{об}}$		$0E_{\text{пов}} + E_{\text{об}}$	
9	19,8			$2E_{\text{об}}$			

Аналогичная расшифровка спектра была проведена и для «скандатного» катода. Рассчитанные в соответствии с соотношениями (4) и (5) значения электронных концентраций в оксиде бария для металлопористого и «скандатного» катодов представлены в табл. 2.

Обсуждение и заключение (Discussion and Conclusion)

Расщепление электронного уровня кислородных вакансий определяется двумя факторами:

- неупорядоченным пространственным распределением собственно кислородных вакансий в оксиде бария, что приводит к появлению возмущающей случайной потенциальной энергии взаимодействия между кислородными вакансиями;

- взаимодействием между электронными состояниями примесных атомов алюминия или скандия с электронными состояниями кислородных вакансий.

Результаты расчета концентрации кислородных вакансий, приведенные в табл. 2, показывают, что после пропитки вольфрамовой матрицы оксидной фазой концентрация кислородных вакансий в «скандатном» катоде в 1,62 раза меньше, чем в металлопористом катоде. Это связано, как уже отмечалось выше, с большей термической устойчивостью скандата бария по сравнению с алюминатом. А это означает, что и на этапе пропитки катодов, и на этапе их активирования, которое также протекает в соответствии с реакцией (3), концентрация кислородных вакансий, а значит и эмиссионная способность «полностью скандатного» катода, будут ниже, чем у металлопористого катода. В свете данного обстоятельства становится понятна и экспериментально подобранная в литературе схема выбора состава «скандатного» катода, содержащего 95% алюминатной фазы и примерно 5% – скандатной.

Методами спектроскопии оптического поглощения и характеристических потерь энергии электронов исследована электронная структура стандартного металлопористого катода и «скандатного» катода и установлены два фактора влияния скандия на улучшения эмиссионных свойств «скандатного» катода по сравнению с металлопористым катодом. Это может позволить сформулировать физико-химическую модель работы «скандатного» катода, которая отсутствовала в литературе на протяжении 40 лет после его изобретения.

Список используемых источников:

1. Schoenbeck Laura. Investigation of reactions between barium compounds and tungsten in a simulated reservoir hollow cathode environment. // In Partial Fulfillment Of the Requirements for the Degree Master of Science in Materials Science and Engineering. Georgia Institute of Technology, February 2005. 118 p.
2. Gartner G., Geintter P., Ritz A. Emission properties of top-layer scandate cathodes prepared by LAD. // Appl. Surf. Sci. 1997. No 111. P. 11-17.
3. Капустин В.И. Расчет температурной зависимости работы выхода окиси бария. // Изв. АН СССР. Сер. Физ. 1991. Т. 55, № 12. С. 2455-2458.
4. Капустин В.И. Физико-химические основы создания многокомпонентных оксидсодержащих катодных материалов. // Перспективные материалы. 2000. № 2. С. 5-17.
5. Ли И.П., Капустин В.И., Свитов В.И. и др. Структура электронных уровней кислородных вакансий в оксиде бария. // Электронная техника. Сер. 1: СВЧ-техника. Вып. 2(525). 2015. С. 45-58.
6. Zalm P. Thermionic cathodes. // Adv. In Electronics and El. Phys. Acad. Press. N.Y.-Lon. 1968. v. 25. P. 211-272.
7. Никонов Б.П., Бейнар К.С. Термоэлектронная эмиссия оксидного катода в потоке бария. // Радиотехника и электроника. 1970. Т. 15, № 6. С. 1272-1282.
8. Мотт Н., Дэвис Э. Электронные процессы в некристаллических веществах. Пер. с англ. М.: Мир. 1974. 472 с.
9. Янг М. Оптика и лазеры, включая волоконную оптику и оптические волноводы. Пер. с англ. М.: Мир. 2005. 541 с.
10. Киреев П.С. Физика полупроводников. М.: Высшая школа. 1975. 584 с.
11. Шульман А.Р., Фридрихов С.А. Вторично-эмиссионные методы исследования твердого тела. М.: Наука. 1977. 552 с.
12. Лазарев В.Б., Соболев В.В., Шаплыгин И.С. Химические и физические свойства простых оксидов металлов. М.: Наука. 1983. 240 с.

References:

1. Schoenbeck Laura. Investigation of reactions between barium compounds and tungsten in a simulated reservoir hollow cathode environment. In Partial Fulfillment Of the Requirements for the Degree Master of Science in Materials Science and Engineering. Georgia Institute of Technology, February 2005. 118 p.
2. Gartner G., Geintter P., Ritz A. Emission properties of top-layer scandate cathodes prepared by LAD. Appl. Surf. Sci. 1997. No 111. P. 11-17.
3. Kapustin V.I. Calculations of Work Function Temperature Dependence for Barium Oxide. Izv. USSR Academy of Sciences. Phys. 1991. V. 55. No 12. P. 2455-2458.
4. Kapustin V.I. Physico-chemical bases of multicomponent oxide materials creation for cathodes. Advanced materials. 2000. No 2. P. 5-17.
5. Lee I.P., Kapustin V.I., Svitov V.I., et al. The structure of the electronic levels of the oxygen vacancies in barium oxide. Electronic Engineering. Series 1: MW Engineering. Issue. 2(525). 2015. P. 45-58.
6. Zalm P. Thermionic cathodes. Adv. In Electronics and El. Phys. Acad. Press. N.Y.-Lon. 1968. Vol. 25. P. 211-272.
7. Nikonov B.P., Beynar K.S. Thermionic Emission from Oxide Cathode in Barium Flow. Radioengineering & Electronics. 1970. V. 15, No 6. P. 1272-1282.
8. Mott N.F., Davis E.A.. Electronic Processes in Non-Crystalline Materials. Clarendon-Press, Oxford. 1971. 437 p.
9. Young M. Optics and Lasers. Including Fibers and Optical Waveguides. Springer-Verlag. 2001. 511 p.
10. Kireev P.S. Semiconductor Physics. M.: Higher School. 1975. 584 p.
11. Shulman A.R., Fridrikhov S.A. Secondary emission methods of solids investigation. M.: Science. 1977. 552 p.
12. Lazarev V.B., Sobolev V.V., Shaplygin I.S. Chemical and physical properties of simple metal oxides. M.: Science. 1983. 240 p.

DOI: 10.17117/nv.2015.02.042

Поступила (Received): 20.04.2015

info@ggc.nnov.ru

Крюков О.В. Микроконтроллерное управление электроприводами газоперекачивающих агрегатов

Kryukov O.V.
Microcontroller control of electric drives of gas-distributing units

Рассмотрены особенности проектирования мультипроцессорных систем управления электроприводами газоперекачивающих агрегатов компрессорных станций. Приведены основные требования и особенности проектных решений по автоматизированным системам управления объектов газотранспортных систем на базе современных микроконтроллеров

Ключевые слова: газоперекачивающий агрегат, система управления, микроконтроллер

Features of design of multiprocessor control systems of electric drives of gas-distributing units of compressor stations are considered. The main requirements and features of design decisions on automated control systems of objects of gas transmission systems on the basis of modern microcontrollers are provided

Key words: the gas-distributing unit, control system, the microcontroller

Крюков Олег Викторович

Доктор технических наук, доцент

Главный специалист

АО «Гипрогазцентр»

Нижний Новгород, ул. Алексеевская, 26

Kryukov Oleg Viktorovich

Doctor of Engineering Sciences, associate Professor

Chief specialist

JSC "Giprogazcenter"

Nizhny Novgorod, Alekseevskaya st., 26

При реализации систем частотного регулирования высоковольтными электроприводами [1-3] для эффективности и быстрой окупаемости новой техники необходимо использовать все возможные схемные и алгоритмические инновации [4,5], используемые в современных мультипроцессорных САУ [6,7]. Однако применение унифицированных структур и агрегатов, выпускаемых ведущими электротехническими фирмами мира, оставляет проектировщикам возможность использования адаптированных алгоритмов управления основными агрегатами компрессорных станций (КС) только на верхнем уровне иерархии в открытых мультипроцессорных системах управления (МПСУ). Анализ функциональных схем, реализующих векторное управление электроприводами газоперекачивающих агрегатов (ЭГПА) с ориентацией по вектору потокосцепления статора приводит к возможностям построения соответствующей архитектуры МПСУ приводными агрегатами. При этом очевидно, что по объему и допустимому времени вычислений вся структурная схема МПСУ ЭГПА должна делиться на две части (рис. 1).

Одна часть, включающая в себя регуляторы скорости, потокосцепления и составляющих тока статора требует сравнительно небольших вычислительных

Не менее очевидно и то, что наличие датчиков потокосцепления ротора и скорости его вращения ухудшает технико-экономические показатели всего ЭГПА. Косвенное измерение этих параметров возможно, но требует дополнительных вычислительных ресурсов. Поэтому целесообразная структура системы векторного управления ЭГПА с ориентацией по вектору потокосцепления ротора представлена рисунках 1 и 2. Она представляет собой мультипроцессорную архитектуру с распределением всех функций на 2 МК (для ЭГПА с датчиками скорости и потокосцепления) или 3 (в случае бездатчикового ЭГПА).

Рис. 1. Распределение функциональных элементов по МПСУ с ориентацией по вектору потокосцепления ротора (Ψ_r) при наличии датчиков скорости и потока:
РП, РС, РТ – регуляторы потокосцепления, скорости и тока, БПК – блок преобразования координат, ПЧ, ПФ – преобразователи частоты и фаз, ДПР – датчик положения ротора, ТА – тригонометрический анализатор, ТГ – тахогенератор, БВМ – блок выделения модуля, БК – блок коммутации, АД – асинхронный электродвигатель.

Для мультипроцессорных САУ большое значение имеет принцип обмена информацией между отдельными МК и устройствами памятью, т.к. этот фактор определяет такие важнейшие параметры как быстродействие, устойчивость работы, наращиваемость [3]. Существует три класса распределенных систем управления автоматизированными электроприводами с векторным управлением:

1. Системы с общей памятью имеют общую сосредоточенную память, которая через систему каналов связана с МК, но обмен информацией между памятью и процессорами может осуществляться только поочередно.

2. МПСУ с распределенной локальной памятью, где каждый МК имеет прямой канал связи с определенным сектором и непосредственно подключен к общей СКС, что позволяет организовать самый быстрый и эффективный прямой обмен.

3. Комбинированная организация памяти (сосредоточенно-распределенная), при которой информация, используемая достаточно редко, хранится в ОП, а обмен между ОП и РП осуществляется через общую СКС.

При соответствующем распределении отдельных задач между группами МК разных уровней иерархическая архитектура позволяет достичь в совокупности с распределенной памятью наивысшей производительности и устойчивости в работе всей МПСУ. Именно этот тип архитектуры и является наиболее перспективным при создании МПСУ ЭГПА.

Рис. 2. Распределение функциональных элементов по МПСУ с ориентацией по вектору потокосцепления ротора при отсутствии датчиков скорости и потока:

РП, РС, РТ – регуляторы потокосцепления, скорости и тока, БПК – блок преобразования координат, ПЧ, ПФ – преобразователи частоты и фаз, ДПР – датчик положения ротора, ТА – тригонометрический анализатор, БВМ – блок выделения модуля, БК – блок коммутации, АД – асинхронный электродвигатель.

В целом, структура МПСУ ЭГПА определяется тем набором функций, которые она должна реализовывать. На рис. 3 приведена обобщенная схема МПСУ ЭГПА, содержащая минимально необходимые функциональные блоки. Как

видно из схемы, МПСУ должна обеспечить реализацию требуемого закона регулирования амплитуды в функции частоты, реализуя необходимый алгоритм широтно-импульсной модуляции.

Кроме этого, необходима также обработка сигналов, поступающих через АЦП с датчиков координат ЭГПА, с целью получения информации о потокоцеплении, токе статора и других параметрах для организации соответствующих контуров регулирования.

Реализация микропроцессорных алгоритмов регулирования координатами электроприводов связана с организацией вычислений по рекуррентным алгоритмам ПИ- и ПИД- регуляторов. Время цикла вычислений напрямую связано с полосой пропускания контура регулирования системы. Разрядность вычислений определяет диапазон и точность регулирования. В общем случае рекуррентное уравнение микропроцессорного ПИД-регулятора имеет вид:

$$U(k)=U(k-1)+q_0e(k)+q_1e(k-1)+q_2e(k-2),$$

где $u(k)$ и $u(k-1)$ – вычисленное управляющее воздействие на текущем и предыдущем тактах квантования соответственно; $e(k)$, $e(k-1)$, $e(k-2)$ – коды сигналов ошибки трех последних тактов квантования; q_0 , q_1 , q_2 – коэффициенты цифрового регулятора.

Рис. 3. Обобщенная схема МПСУ ЭГПА, содержащая минимально необходимые функциональные блоки.

Как правило, внешний контур регулирования в ЭГПА имеет полосу пропускания порядка 30 Гц при полосе пропускания контура регулирования скорости 300 Гц и контура тока 3-5 кГц. В этом случае частота несущей ШИМ составляет 6-12 кГц. Следовательно, время цикла регулирования МПСУ должно составлять 80-170 мкс.

Неотъемлемая часть любых САУ ЭГПА – координатные преобразователи (КП), устанавливающие связь регулируемых переменных в различных системах координат. Математическое описание синхронных и асинхронных электродвигателей и последующий синтез регуляторов САУ осуществляются во вращающейся системе координат, связанной с опорным вектором. Однако управление двигателями посредством автономных инверторов напряжения или тока и измерение токов в фазах реально происходит в неподвижной трехфазной системе координат $a-b-c$, связанной со статорными обмотками. Поэтому в общем случае КП осуществляют прямую и обратную трансляцию сигналов между вращающейся $x-u$ и неподвижными двухфазной $\alpha-\beta$ и трехфазной $a-b-c$ системами координат в соответствии с уравнениями Кларка.

В цифро-аналоговых схемах управления реализация этих уравнений достаточно сложна, поскольку требует большого количества интегральных микросхем, в том числе аналоговых умножителей. При использовании в САУ МК задача построения КП значительно упрощается. Однако большое число операций перемножения, как отмечено выше, уменьшает частоту цикла регулирования. Поэтому часто контур регулирования тока замыкается в неподвижной системе координат статора $a-b-c$, что сокращает число координатных преобразований и упрощает алгоритм работы МК.

В настоящее время для выполнения КП и других сложных алгебраических вычислений применяются специальные цифровые вычислительные устройства, эти вычисления производятся комбинированным программно-аппаратным способом. В современных публикациях эти устройства получили название микропроцессоры цифровой обработки сигналов – Digital Signal Processor (DSP).

Во всех DSP имеется аппаратная поддержка многоразрядных умножителей, во многих – прецизионное АЦП, в некоторых – разложения в ряд Фурье. Большинство DSP выполняется по RISC-архитектуре (Reduce Instruction Set Computer), позволяющей выполнять любые программные и аппаратные команды за один-два машинных цикла.

Рис. 4. МПСУ ЭГПА с векторным управлением на элементах фирмы Analog Devices:
 CAP – система автоматического регулирования, КП – координатный преобразователь, ШИМ – широтно-импульсный модулятор, АЦП – аналого-цифровой преобразователь, АИН – автономный инвертор напряжения, BR – датчик скорости вращения, М – двигатель

Примером реализации МПСУ ЭГПА с векторным управлением является схема, представленная на рис. 4. Регулирование тока здесь осуществляется по двум каналам, которые соответствуют проекциям вектора на оси вращающейся системы координат, совмещенной с вектором потокосцепления ротора.

Рассмотренные системы иллюстрируют тот факт, что разработку идеологии архитектуры МПСУ ЭГПА определяют не специалисты-приводчики, а фирмы-изготовители, занимающиеся выпуском номенклатуры МК. Поэтому реализация вспомогательных функций МПСУ на современной элементной базе выливается в использование дополнительных, прежде всего, аппаратных средств.

Таким образом, САУ ЭГПА должна быть:

- мультипроцессорной;
- векторной с ориентацией по вектору потокосцепления ротора;
- с перенастройкой САР в зависимости от режимов работы;
- адаптивной со сложными алгоритмами САУ ПЧ с ШИМ;
- иметь ресурсы для функций мониторинга и автоматизации.

Один из вариантов реализации структурной схемы МПСУ ЭГПА приведен на рис.5. Инвариантность к используемой элементной базе обеспечивается внутренним интерфейсом, реализуемым с помощью двунаправленных асинхронных буферов (ДАБ). Объем буфера выбирается достаточным для того, чтобы он не переполнялся. Фактически работа системы в этом случае будет такой же, как и в отсутствии буфера.

Рис. 5. Структурная схема МПСУ ЭГПА: ВИ – внешний интерфейс, САУ – система автоматического управления, ДАБ – двунаправленный асинхронный буфер, СДиП – система диагностики и прогнозирования технического состояния, ПДД – порт данных с датчиков, СС – система связи (интерфейс), остальные обозначения – см. рис. 3.

С точки зрения интеграционных возможностей данная архитектура помимо стандартного интерфейса с внешними устройствами для обмена информацией о заданных и текущих параметрах и режимах работы всего электропривода с преобразователями частоты и синхронными (асинхронными) машинами и самой МПСУ, имеется отдельный интерфейс, который предназначен исключительно для обеспечения функций диагностирования и прогнозирования состояния ЭГПА. Такой подход позволяет достичь наивысшей надежности и универсальности ЭГПА в рамках единой АСУ КС сложным многоуровневым технологическим процессом.

Список используемых источников:

1. Пужайло А.Ф. и др. Энергосбережение и автоматизация электрооборудования компрессорных станций: монография / Под ред. О.В. Крюкова. Н. Новгород: Вектор ТИС, Т. 2. 2011. 664 с.
2. Пужайло А.Ф. и др. Электроприводы объектов газотранспортных систем: Монография серии «Научные труды к 45-летию ОАО «Гипрогазцентр»» // Под ред. О.В. Крюкова. Нижний Новгород: Исток. Т. 4. 2013. 300 с.
3. Крюков О.В. Частотное регулирование производительности электроприводных газоперекачивающих агрегатов // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. 2014. № 6. С. 39-43.
4. Степанов С.Е., Крюков О.В., Плехов А.С. Принципы автоматического управления возбуждением синхронных машин газокomppressorных станций // Автоматизация в промышленности. 2010. № 6. С. 29-31.
5. Kryukov O.V. Intelligent electric drives with IT algorithms // Automation and Remote Control. 2013. Т. 74. № 6. С. 1043-1048.
6. Крюков О.В. Проектирование вентильных каскадов с микропроцессорным управлением: Учебное пособие. Нижний Новгород, 1991. 88 с.
7. Крюков О.В. Микропроцессорное управление машинами двойного питания: Учебное пособие. Нижний Новгород, 1999. 118 с.

References:

1. Pugalo A.F., etc. Energy Saving and automation of electrical equipment of compressor stations: the monograph. Under the editorship of O. V. Kryukov. N. Novgorod: Vector Yew, Vol. 2. 2011. 664 p.
2. Pugalo A.F. and others Electric facilities of transportation systems: Monograph series "Research papers of the 45th anniversary of OJSC "giprogaizcentr". Under the editorship of O.V. Kryukov. Nizhny Novgorod: The Source. Vol. 4. 2013. 300 p.
3. Kryukov O.V. Frequency control performance of electrically driven gas pumping units. Electrical equipment: operation and repair. 2014. No. 6. P. 39-43.
4. Stepanov S.E., Kryukov O.V., Plekhov A.S. The principles of automatic excitation control of synchronous machines gas compressor stations. Automation in industry. 2010. No. 6. P. 29-31.
5. Kryukov O.V. electric drives Intelligent algorithms with IT. Automation and Remote Control. 2013. T. 74. No. 6. P. 1043-1048.
6. Kryukov O.V. Designing of valve cascades with microprocessor control: Training manual. Nizhny Novgorod, 1991. 88 p.
7. Kryukov O.V. Microprocessor control of machines of dual power: manual. Nizhny Novgorod, 1999. 118 p.

DOI: 10.17117/nv.2015.02.049

Поступила (Received): 08.06.2015

tgpu@tula.net

Надеждин Е.Н.
Оценка эффективности механизма защиты
сетевых ресурсов на основе игровой модели
информационного противоборства

Nadezhdin E.N.
Evaluation of the effectiveness of the protection mechanism of
network resources based gaming model of information warfare

На фоне общей тенденции информатизации общества расширяется спектр угроз информационной безопасности сетевым ресурсам научно-образовательных учреждений. Сформулирована задача количественной оценки эффективности механизма защиты ресурсов корпоративной вычислительной сети. В отличие от традиционного подхода, объектом исследования в статье является формальная динамическая система, структурно объединяющая противоборствующие информационные системы. Данный приём позволил исходную задачу оценки эффективности интерпретировать в терминах статистической динамики систем управления. На основе теории метода динамики средних для динамической системы «Система защиты информации – злоумышленник» разработана математическая модель в виде системы однородных дифференциальных уравнений. В предложенной модели фазовыми координатами являются параметры состояния конфликтующих подсистем. Для конкретных условий прикладной задачи методом компьютерного моделирования идентифицирована фазовая траектория динамической системы и вычислено терминальное значение показателя совокупного ущерба. Данный результат отражает эффективность функционирования механизма защиты сетевых ресурсов

Ключевые слова: вычислительная сеть, защита сетевых ресурсов

On the background of the General trend of Informatization of the society is expanding the range of information security threats network resources of scientific and educational institutions. We have formulated the problem of quantitative evaluation of effectiveness of mechanism of protection of resources of corporate computing networks. Unlike the traditional approach, the object of research in article is the formal dynamic system, structurally uniting the warring information system. This method allowed the initial problem of evaluating the effectiveness interpreted in terms of the statistical dynamics of control systems. Based on the theory of the dynamics of average method for dynamic systems "System of information protection – attacker" a mathematical model in the form of a system of homogeneous differential equations. In the proposed model of the phase coordinates are the state parameters of conflicting subsystems. For a specific applied problems by methods of computer simulations identified the phase trajectory of the dynamic system and calculated the terminal value of the loss. This result reflects the efficiency of the mechanism of protection of network resources

Key words: computer network, protection of network resources

*Надеждин Евгений Николаевич**Доктор технических наук, профессор
Тульский государственный педагогический
университет имени Л.Н. Толстого
г. Тула, пр. Ленина, 125**Nadezhdin Evgeniy Nikolaevich**Doctor of Engineering Sciences, Professor
Tula state pedagogical University named
after L.N. Tolstoy
Tula, Lenin ave., 125*

Стремительное расширение сетевой инфраструктуры национальных научно-образовательных центров потребовало адекватного развития методов и аппаратно-программных средств комплексной защиты информации [1, 7]. Наиболее острой в настоящее время является проблема создания гибких механизмов защиты от массированных атак потенциальных злоумышленников на информационные и вычислительные ресурсы корпоративных вычислительных сетей (КВС). Возросший поток научных публикаций [1, 2, 5, 7], посвящённых методам и алгоритмам интеллектуального анализа угроз и управления рисками сетевой безопасности, косвенно свидетельствует о нерешённости проблемы обеспечения гарантированной защиты сетевых ресурсов.

Целью статьи является обоснование игровой модели процесса отражения массированной атаки на сетевую инфраструктуру организации и обоснование алгоритма количественной оценки эффективности механизма защиты сетевых ресурсов (МЗР) КВС.

В основу игровой модели процесса информационного противоборства положим аксиоматику и инструментарий известного метода динамики средних (МДС), который был разработан в 60-х годах XX-го века применительно к задачам численного анализа средних характеристик случайных процессов в системах управления боевыми действиями с большим числом состояний [8]. Позднее МДС получил развитие и был обобщён на класс задач игрового моделирования процессов многоканального противоборства автоматизированных информационных систем [3, 4]. Опираясь на базовую вычислительную схему МДС, изложим на содержательном уровне задачу моделирования процесса противоборства двух информационных систем (на сегменте глобальной сети).

Пусть требуется оценить эффективность МЗР путём систематического изучения игровой модели информационного противоборства системы защиты информации КВС и некоторого условного «злоумышленника». Для определённости примем, что под «злоумышленником» (ЗЛ) понимается группа профессионально подготовленных и мотивированных сотрудников фирмы-конкурента, стремящихся взломать систему защиты активов, получить доступ к конфиденциальной информации, нарушить управление и, в целом, ухудшить имидж учреждения на рынке инновационных НБИК-технологий.

Основываясь на опыте создания автоматизированных систем, оснащённых комплексной системой защиты информации (СЗИ), введём ряд определений. При этом отметим, что комплексная СЗИ, обладая значительным информационно-аналитическим потенциалом, должна не только обнаруживать факты нарушения целостности информации, определять степень ущерба и оперативно восстанавливать информацию, но и целенаправленно выявлять и оценивать новые угрозы и применять активные способы и средства защиты. Здесь на основе

использования современных интеллектуальных технологий открываются новые возможности для прерывания информационных атак злоумышленника на элементы инфраструктуры КВС и снижения возможного ущерба.

Как показал анализ известных работ в области ИБ, в настоящее время отсутствуют общепринятые унифицированные методики расчёта эффективности защиты ресурсов и оценки рисков автоматизированных систем. Это объясняется, прежде всего, уникальностью сетевой инфраструктуры учреждения и сложностью аналитического описания функционала КВС с учётом специфики динамично изменяющейся информационной среды. В этой связи основным методом количественной оценки и прогнозирования показателей СЗИ остаётся метод имитационного моделирования [5].

Принципиальной особенностью развиваемого в статье модельного подхода является формальное представление объекта исследования как динамической системы «Система защиты информации – злоумышленник» («СЗИ-ЗЛ»), функционирующей на заданном интервале времени $[t_0, t_N]$. Вектор фазовых координат динамической системы (ДС) в момент времени $t \in (t_0, t_N]$ имеет вид: $Z = (z_1, z_2, \dots, z_k, \dots, z_n)^T$, где z_k - численность состояния элемента (средства) k -го типа.

Пошаговая (во времени) численная оценка вектора состояния $Z(t) \forall t \in (t_0, t_N]$ на основе формального описания и имитационного моделирования процесса функционирования ДС позволит получить исчерпывающую информацию о подпроцессах, протекающих в подсистемах (элементах) этой динамической системе. Предлагаемая методика исследования эффективности комплексной защиты информации в КВС на основе компьютерной реализации игровой модели включает следующие этапы [4].

Шаг 1. Анализ характеристик (состава, направленности, интенсивности возникновения и механизмов реализации) информационных угроз. Содержательная постановка задачи исследования.

Шаг 2. Разработка операционной схемы для исследования динамической системы «СЗИ-ЗЛ» на полуинтервале времени $t \in (t_0, t_N]$. Формулировка дисциплинирующих условий и основных ограничений.

Шаг 3. Составление уравнений для численностей состояний в дифференциальной форме в соответствии с методом динамики средних.

Шаг 4. Задание исходных данных, базовых и дополнительных ограничений для решения задачи исследования. Определение условий преждевременного завершения процесса информационного противоборства и выхода из цикла операционного моделирования.

Шаг 5. Формализация модели и решение задачи анализа с использованием унифицированных процедур численного интегрирования. Фиксация и аппроксимация результатов моделирования.

Шаг 6. Вычисление значений частных показателей эффективности, отражающих относительное состояние каждого типа элементов (средств) динамической системы на момент времени $t^* \in (t_0, t_N]$ выхода из цикла моделирования по заданному условию.

Шаг 7. Оценка ущерба W_A и W_B для участвующих в информационном взаимодействии подсистем.

Текущее состояние средств всех типов предлагается оценивать с помощью показателя потерь ΔZ_i , под которым понимают величину относительного ущерба, нанесенного средству z_i в результате целенаправленного информационного воздействия со стороны других средств ДС. Фактически потери – это результат информационных атак средств, относящихся к противодействующей стороне (подсистеме). Показатель относительного ущерба ΔZ_i , $i = \overline{1, n}$, может быть вычислен по формуле:

$$\Delta Z_i(t^*) = \frac{z_i(t_0) - z_i(t^*)}{z_i(t_0)} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где t^* – текущий момент времени (момент выхода из цикла моделирования);

$\Delta z_i(t^*)$ – относительный ущерб для средства z_i на момент времени t^* ;

$z_i(t_0)$ – исходный потенциал средства z_i в момент времени t_0 .

Шаг 8. Обобщение результатов моделирования и обоснование рекомендаций по выбору характеристик СЗИ и стратегии её использования в КВС.

Изложенная выше схема оценки эффективности механизма защиты КВС реализована в виде компьютерной программы, которая составлена в интегрированной вычислительной среде MathCad (v. 15) и даёт возможность для заданных условий возникновения и развития информационного конфликта оценить частные показатели, отражающие снижение ресурса средств каждого типа и совокупный риск (ущерб) каждой стороны (подсистемы).

Совокупный риск (ущерб) противоборствующих сторон **A** и **B** может быть определён в произвольный момент времени $t \in (t_0, t_N]$ на основе следующих соотношений:

$$W_A = \sum_{i \in I_A} \alpha_i \cdot \Delta Z_i; \quad W_B = \sum_{i \in I_B} \beta_i \cdot \Delta Z_i, \quad (2)$$

где α_i и β_i – весовые коэффициенты; ΔZ_i – показатель относительного ущерба для средства i -го типа на момент времени t ; I_A и I_B – множества, содержащие индексы фазовых переменных, относящихся соответственно к сторонам **A** и **B**.

В качестве примера приложения авторской методики ниже представлено решение задачи количественной оценки эффективности МЗР. При этом к сетевым ресурсам будем относить информационное и программное обеспечение КВС. Учитывая специфику комплексных СЗИ [1], в составе её модели выделим средства пассивной защиты (СПЗ) и средства активной защиты (САЗ).

На рис. 1 представлена укрупнённая операционная схема многоканального информационного взаимодействия подсистем исследуемой динамической

системы «СЗИ-ЗЛ». При этом введены следующие обозначения: *сторона А* (игрок **А**) – СЗИ; *сторона В* (игрок **В**) – злоумышленник, пытающийся преодолеть защиту и получить доступ к сетевым ресурсам. В структуре СЗИ (*подсистема А*) выделены следующие элементы: средства программного обеспечения (СПО), база данных (БД), средства пассивной защиты /средства восстановления/ (СПЗ) и средства активной защиты (САЗ). В модели злоумышленника (*подсистема В*) выделены: средства активного нападения первого и второго типов (САН₁ и САН₂) и система управления ими. Будем полагать, что СПЗ используются для обнаружения, локализации и восстановления повреждённых информационных элементов и программных модулей. В интересах упрощения процесса алгоритмизации задачи исследования специальные ограничения на характеристики СПЗ подсистемы **А** не вводились.

Для формализованного представления ДС «КВС-ЗЛ» введём переменные $z_i, i = 1, \dots, 6$, под которыми будем понимать численности состояний соответственно следующих элементов: базы данных, средств программного обеспечения и средств активной защиты подсистемы **А**, а также средств активного нападения первого типа, системы управления и средств активного нападения второго типа подсистемы **В**.

Состояние динамической системы «КВС-ЗЛ» в целом в каждый момент времени $t \in (t_0, t_N]$ характеризуется системой обыкновенных линейных дифференциальных уравнений, в которой в качестве переменных рассматриваются численности состояний $z_i, i = 1, \dots, 6$:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dz_1}{dt} = \dot{z}_1(t) = -\lambda_4 \cdot p_{14} \cdot v_1 \cdot z_4 - \lambda_6 \cdot p_{16} \cdot v_2 \cdot z_6 + \delta z_1 \cdot \gamma(z_1, Z_1^*) \\ \frac{dz_2}{dt} = \dot{z}_2(t) = -\lambda_4 \cdot p_{24} \cdot v_2 \cdot z_4 + \delta z_2 \cdot \gamma(z_2, Z_2^*); \\ \frac{dz_3}{dt} = \dot{z}_3(t) = -\lambda_6 \cdot p_{36} \cdot v_4 \cdot z_6; \\ \frac{dz_4}{dt} = \dot{z}_4(t) = -\lambda_3 \cdot p_{43} \cdot u_1 \cdot z_3; \\ \frac{dz_5}{dt} = \dot{z}_5(t) = -\lambda_3 \cdot p_{53} \cdot u_2 \cdot z_3; \\ \frac{dz_6}{dt} = \dot{z}_6(t) = -\lambda_3 \cdot p_{63} \cdot u_3 \cdot z_3. \end{array} \right. \quad (3)$$

Здесь $\delta z_1 \cdot \gamma_1(z_1, Z_1^*)$ – модель введения резерва для восстановления (пополнения) численности состояний z_1 ; $\delta z_2 \cdot \gamma_2(z_2, Z_2^*)$ – модель введения резерва для восстановления (пополнения) численности состояний z_2 ; Z_1^* и Z_2^* – пороговые значения численностей состояний z_1 и z_2 , при достижении которых в действие вводится резерв из состава СПЗ; δz_1 и δz_2 – интенсивности введения резервных z_1 и z_2 ; $\gamma_1(z_1, Z_1^*)$ и $\gamma_2(z_2, Z_2^*)$ – сигнальные функции, определяемые по формулам:

$$\gamma_1(z_1, Z_1^*) = \begin{cases} 1, & \text{если } z_1(t) \leq Z_1^*; \\ 0, & \text{если } z_1(t) > Z_1^*. \end{cases} \quad \gamma_2(z_2, Z_2^*) = \begin{cases} 1, & \text{если } z_2(t) \leq Z_2^*; \\ 0, & \text{если } z_2(t) > Z_2^*. \end{cases}$$

Введём вспомогательные переменные $A_k, k=1, \dots, 7$ для обозначения для коэффициентов дифференциальных уравнений:

$$\begin{aligned} A_1 &= -\lambda_4 \cdot p_{14} \cdot v_1; & A_2 &= -\lambda_6 \cdot p_{16} \cdot v_3; \\ A_3 &= -\lambda_4 \cdot p_{24} \cdot v_2; & & \\ A_4 &= -\lambda_6 \cdot p_{36} \cdot v_4; & A_5 &= -\lambda_3 \cdot p_{43} \cdot u_1; \\ A_6 &= -\lambda_3 \cdot p_{53} \cdot u_2; & A_7 &= -\lambda_3 \cdot p_{63} \cdot u_3. \end{aligned} \quad (4)$$

Здесь $\lambda_i, i=1, \dots, 6$ – интенсивности атак (контратак), выполняемых средствами $z_i, i=1, \dots, 6$, соответственно; p_{ij} – вероятность поражения единицы средства z_i в результате атаки со стороны средства z_j ; u_1, u_2 и u_3 – доли средств z_3 стороны **A**, участвующих в подавлении средств z_4, z_5 и z_6 стороны **B** соответственно; v_1 и v_2 – доли средств z_4 стороны **B**, участвующих в подавлении соответственно средств z_1 и z_2 стороны **A**; v_3 и v_4 – доли средств z_6 стороны **B**, участвующих в подавлении соответственно средств z_1 и z_3 стороны **A**.

После преобразований системы дифференциальных уравнений (3) с учётом введённых обозначений (4) получим:

$$\begin{cases} \dot{z}_1(t) = A_1 \cdot z_4 + A_2 \cdot z_6 + \delta z_1 \cdot \gamma_1(z_1, Z_1^*); \\ \dot{z}_2(t) = A_3 \cdot z_4 + \delta z_1 \cdot \gamma_2(z_2, Z_2^*); \\ \dot{z}_3(t) = A_4 \cdot z_6; \\ \dot{z}_4(t) = A_5 \cdot z_3; \\ \dot{z}_5(t) = A_6 \cdot z_3; \\ \dot{z}_6(t) = A_7 \cdot z_3. \end{cases} \quad (5)$$

Здесь δz_1 – интенсивность ввода резерва, единиц/час; $\gamma(t)$ – сигнальная функция (окно на оси времени), которая позволяет выбрать интервал ввода резерва в средства $z_1(t)$; время среза $\Delta t_{\text{среза}} = t_{\text{к.вв}} - t_{\text{н.вв}}$. u_1, u_2 и u_3 – относительные доли (в %) средств z_3 стороны **A**, участвующих в информационном подавлении средств z_4, z_5 и z_6 соответственно; при этом должно выполняться дисциплинирующее условие: $u_1 + u_2 + u_3 \leq 1$.

Соотношения $u_1/u_2/u_3 = a/b/c$ определяют стратегию игрока **A** в отражении информационных атак игрока **B**. Соотношения $v_1/v_2/v_3 = w/d/r$ определяют стратегию игрока **B** в организации информационных атак на средства игрока **A**; v_1 и v_2 – доли (%) потенциала средства z_4 стороны **B**, участвующего в информационном подавлении средств z_1 и z_2 стороны **A**, причем должно выполняться условие: $v_1 + v_2 \leq 1$; v_3 и v_4 – доли (в %) потенциала средства z_6 стороны **B**, участвующего в информационном подавлении средств z_1 и z_3 стороны **A** соответственно; при этом должно выполняться условие: $v_3 + v_4 \leq 1$; $p_{ij}, i, j = \overline{1, 6}$ – вероятность информационного подавления средства i -го типа средством j -го типа.

В интересах удобства алгоритмизации введём **дополнительные условия**:

1. Резерв для пополнения элементов в состоянии z_1 используется при выполнении условия: $z_1(t) \leq 80 \% \cdot z_1(t_0)$; резерв для пополнения элементов в состоянии z_2 используется при выполнении условия: $z_2(t) \leq 80 \% \cdot z_2(t_0)$.

2. Каждое из средств z_i , $i = \overline{1,6}$, имеет только два состояния: рабочее и нерабочее (без возможности восстановления).

3. Начальные условия приняты следующими:

$$z_1(t_0) = z_2(t_0) = 100; \quad z_3(t_0) = z_5(t_0) = 100; \quad z_4(t_0) = z_6(t_0) = 100.$$

$$\lambda_3 = 0,12 \text{ мин}^{-1}; \quad \lambda_4 = 0,15 \text{ мин}^{-1}; \quad \lambda_6 = 0,06 \text{ мин}^{-1};$$

$$\delta z_1 = 0,18 \text{ мин}^{-1}; \quad \delta z_2 = 0,12 \text{ мин}^{-1}.$$

С учётом анализа информационных угроз и имеющегося опыта исследования СЗИ приняты фиксированные стратегии $\{u\}$ и $\{v\}$ игроков А и В:

$$u_1 = u_2 = 0,2; \quad u_3 = 0,3; \quad v_1 = 0,5; \quad v_2 = 0,25; \quad v_4 = 0,4; \quad v_3 = 0,35.$$

Значения вероятностей поражения одной единицы средств игроков А и В примем в соответствии с данными таблицы 1.

Таблица 1. Вероятности поражения элементов

Игрок А				Игрок В		
p14	p16	p24	p36	p43	p53	p63
0,014	0,010	0,012	0,03	0,012	0,009	0,017

Моделирование (численное решение) системы дифференциальных уравнений выполнено в цикле на интервале времени $[t_0, t_N]$: $t_0 = 0$ мин., $t_N = 180$ мин. с шагом $\Delta t = 0,1$ мин.

Выход из цикла моделирования (решения) осуществлялся в одном из следующих случаев: $\{z_1 \leq 10; z_2 \leq 10; z_3 \leq 10; z_4 \leq 5; z_5 \leq 10; z_6 \leq 5\}$.

В качестве выходных данных при моделировании фиксируются: время решения задачи $t_{\text{реш}}$, тождественно равное времени информационного взаимодействия t^* : $t_{\text{реш}} = t^*$; численные значения переменных $z_i(t^*)$, $i = \overline{1,6}$; строятся графики $z_i = f_i(t)$, $i = \overline{1,6}$; $t \in [t_0, t^*]$ в двух системах координат (рис. 2 и рис. 3).

Используя данные об изменении численностей состояний динамической системы во времени $T \equiv t$ (мин.), для заданного момента времени t^* можно вычислить относительный ущерб $\Delta Z_i(t^*)$ по формуле (1) по каждому средству z_i , $i = \overline{1,6}$, игроков А и В. Результаты расчёта показателей относительного ущерба $\Delta Z_i(t^*)$ для фиксированных исходных данных приведены в табл.2.

Результаты цифрового моделирования фазовой траектории в виде таблиц или графиков изменения во времени фазовых координат z_i , $i = \overline{1,6}$, позволяют проследить динамику взаимодействия СЗИ со злоумышленником и косвенно оценить результативность используемых механизмов комплексной защиты ресурсов КВС.

Таблица 2. Показатели относительного ущерба (%) для средств игроков в контрольной точке $t^* = T = 120$ (мин.)

Средства игрока А			Средства игрока В		
$\Delta Z_1(t^*)$	$\Delta Z_2(t^*)$	$\Delta Z_3(t^*)$	$\Delta Z_4(t^*)$	$\Delta Z_5(t^*)$	$\Delta Z_6(t^*)$
14,81	5,30	8,33	3,31	2,48	7,03

Рис. 1. Операционная схема информационного конфликта

Рис. 2. Изменение численности состояний z_1, z_2, z_3 от времени информационного контакта T (мин.) игроков А и В

Рис. 3. Изменение численности состояний z_4, z_5, z_6 от времени информационного противоборства T (мин.) игроков А и В

Для рассмотренной задачи совокупный ущерб противоборствующих сторон А и В, вычисленный по формулам (2) при учёте данных табл.2 для случая равных весовых коэффициентов $\alpha_i = \text{const} = 1$ и $\beta_i = \text{const} = 1$, составил (у.е.):

$$W_A = \sum_{i=1}^3 \alpha_i \cdot \Delta Z_i = 28,436 \% \text{ и } W_B = \sum_{i=4}^6 \beta_i \cdot \Delta Z_i = 12,817 \%.$$

Результаты операционного моделирования дают основание для аналитического анализа результативности используемых механизмов защиты ресурсов КВС при возможных вариантах и сценариях информационного взаимодействия игроков А и В. На основе вычислительного эксперимента, в частности, установлено, что прямой способ повышения эффективности МЗР через снижение уязвимости средств z_1 , z_2 и z_3 не является продуктивным. Так, за счёт уменьшения вероятностей поражения единиц средства z_1 в два раза совокупный ущерб W_A игрока А может снизиться всего на 8,6 %. Этот результат не окупает тех материальных затрат, которые требуются для разработки и внедрения в состав СЗИ соответствующих аппаратно-программных средств. Вопреки ожиданиям, незначительный эффект (всего 3,7 %) даёт и смещение акцентов информационных контратак средства z_3 в направлении средства z_6 .

В результате исследования определено, что более значительного приращения эффективности МЗР следует ожидать в случае комплексного (согласованного по целям, задачам и времени) применения нескольких способов пассивной и активной защиты сетевых ресурсов КВС [5]. Закономерным итогом комплексирования способов защиты будет существенное снижение интенсивности информационных атак со стороны средств z_4 и z_6 и ослабление уязвимости средств игрока А. В качестве перспективного направления обеспечения заданного уровня защищённости сетевых ресурсов КВС можно указать совместное применение рекомендаций и структурных решений теории обманных систем и алгоритмов интеллектуального управления МЗР [2].

Таким образом, изложенный игровой подход к операционному моделированию информационного противоборства СЗИ со злоумышленником в условиях отсутствия доступных для инженерной практики аналитических методик анализа рисков ИБ является удобным способом приближённой оценки эффективности механизма защиты сетевых ресурсов.

Список используемых источников:

1. Малюк А.А. Теория защиты информации. М.: Горячая линия-Телеком. 2012. 184 с.
2. Надеждин Е.Н. Проблемные вопросы управления рисками информационной безопасности в сфере образования // Научный поиск. 2012. №2.6. С.50-56.
3. Надеждин Е.Н., Смирнова Е.Е. Игровой подход к оценке защищённости информации в корпоративной вычислительной сети. Тула: Тульский артиллерийский инженерный институт, 2006.
4. Надеждин Е.Н. Игровой подход к задачам моделирования информационного противоборства и оценки рисков автоматизированных информационных систем. Тула, 2014.
5. Надеждин Е.Н., Смирнова Е.Е., Шершакова Т.Л. Математические основы моделирования и анализа интегрированных систем защиты информации: учебное пособие. Тула: Московский институт комплексной безопасности, 2013. 206 с.
6. Надеждин Е.Н., Смирнова Е.Е. Методы моделирования и оптимизации интегрированных систем управления организационно-технологическими процессами в образовании: монография. Тула: Изд-во ТулГУ, 2013. 250 с.

7. Сердюк В.А. Организация и технологии защиты информации: обнаружение и предотвращение информационных атак в автоматизированных системах предприятий: учебное пособие; Гос. ун-т – Высшая школа экономики. М.: Изд. дом гос. ун-та – Высшей школы экономики, 2011. 572 с.
8. Чуев Ю.В. Исследование операций в военном деле. М.: Воениздат МО, 1970. 256 с.

References:

1. Malyuk A.A. *The Theory of information security*. M.: Hot line-Telecom. 2012. 184 p.
2. Nadezhdin E.N. *Issues of risk management of information security in education* // *Scientific search*. 2012. No. 2.6. P. 50-56.
3. Nadezhdin E.N., Smirnova E.E. *The game approach to the assessment of information security in corporate computer networks*. Tula: Tula artillery engineering Institute, 2006.
4. Nadezhdin E.N. *The game approach to the modeling of information warfare and risk assessment of automated information systems*. Tula: Tula state pedagogical University named after L.N. Tolstoy, 2014.
5. Nadezhdin E.N., Smirnova E.E., Shershakova T.L. *Mathematical foundations of modeling and analysis of integrated systems of information protection: a training manual*. Tula: Moscow Institute of complex security, 2013. 206 p.
6. Nadezhdin E.N., Smirnova E.E. *Methods of modeling and optimization of integrated management systems, technological-organizational processes in education: monograph*. Tula: Publishing house of TSU, 2013. 250 p.
7. Serdyuk V.A. *Organization and technology of information protection: the detection and prevention of information attacks in auto-specialized systems of enterprises: textbook*; State. University – Higher school of Economics. M.: Izd. house state University – Higher school of Economics, 2011. 572 p.
8. Chuev Yu.V. *Operations Research in military Affairs*. M.: Voenizdat MO, 1970. 256 p.

© 2015, Надеждин Е.Н.

Оценка эффективности механизма защиты сетевых ресурсов на основе игровой модели информационного противоборства

© 2015, Nadezhdin E.N.

Evaluation of the effectiveness of the protection mechanism of network resources based gaming model of information warfare

DOI: 10.17117/nv.2015.02.059

Поступила (Received): 14.05.2015

mpi@ysn.ru

**Спектор В.Б., Шестакова А.А.,
Торговкин Я.И., Спектор В.В.
Обобщение данных о криолитозоне на
инженерно-геологической карте Республики
Саха (Якутия) масштаба 1:1 500 000**

**Spector V.B., Shestakova A.A., Torgovkin Y.I., Spector V.V.
Permafrost Information in the Engineering Geological Map of
the Republic of Sakha (Yakutia), Scale 1:1,500,000**

Инженерно-геологическая карта территории Республики Саха (Якутия) охватывает площадь около 3 млн. кв км, составляющую 1/5 часть территории России. На карте отражены грунтовые и геоэкологические условия, выделены активные разломы, а на картах врезках (масштаб 1:15 000 000) – гидрогеологические и сейсмические условия, схемы районирования по различным факторам инженерно-геологических условий и общая схема инженерно-геологического районирования территории Республики. Карта предназначена для информационного обеспечения планирования, реализации и эксплуатации крупных инженерных сооружений по территории РС (Я). Особенностью составленной карты является отражение почти повсеместного распространения на закартированной территории класса мерзлых грунтов. Выделены виды этого класса грунтов, а по температурным характеристикам – их разновидности. В пределах территории преимущественным распространением пользуются пресные и ультрапресные надмерзлотные воды. В рамки составленной карты входят части двух планетарных сейсмических поясов: Арктико-Азиатского и Байкало-Станового, которые существенно усложняют инженерно-геологические условия территории

Ключевые слова: мерзлые грунты, экзогенные процессы

Engineering Geological Map of the Republic of Sakha (Yakutia) covers an area of 3 million square kilometers, it is the 1/5 part of the territory of Russia. The map shows groundwater and permafrost conditions, active fractures, the inset maps (scale 1:15 000 000) describe hydrogeological and seismic conditions, zoning schemes according to various factors of engineering-geological conditions and general scheme of engineering geological zoning of the territory of Republic. This map is suitable for informational ensuring of planning, implementation and operation of huge civil engineering constructions on the territory of Sakha Republic (Yakutia). The special feature of this map is an image of widespread distribution of frozen ground class on mapped territory. Kinds of this ground class, their varieties by temperature characteristics are shown in the map. Within the territory there are fresh and ultrafresh suprapermafrost water. The map consists of the two planetary seismic zones: Arctic-Asian and Baikal-Stanovoy, which greatly complicate the engineering-geological conditions of the territory

Key words: frozen ground, exogenous processes

Спектор Владимир Борисович

Доктор геолого-минералогических наук
Главный научный сотрудник
Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова
Сибирского отделения Российской академии наук
г. Якутск, ул. Мерзлотная, 36

Шестакова Алена Алексеевна

Кандидат географических наук
Научный сотрудник
Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова
Сибирского отделения Российской академии наук
г. Якутск, ул. Мерзлотная, 36

Торговкин Ярослав Ильич

Кандидат географических наук
Руководитель группы
Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова
Сибирского отделения Российской академии наук
г. Якутск, ул. Мерзлотная, 36

Спектор Валентин Владимирович

Кандидат географических наук
Заведующий лабораторией
Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова
Сибирского отделения Российской академии наук
г. Якутск, ул. Мерзлотная, 36

Spector Vladimir Borisovich

Doctor of Geologo-Mineralogical Sciences
Principal Research Scientist
Melnikov Permafrost Institute Siberian Branch
Russian Academy of Sciences
Yakutsk, Merzlotnaya st., 36

Shestakova Aliona Alexeevna

Candidate of Geologo-Mineralogical Sciences
Research Scientist
Melnikov Permafrost Institute Siberian Branch
Russian Academy of Sciences
Yakutsk, Merzlotnaya st., 36

Torgovkin Yaroslav Ilich

Candidate of Geologo-Mineralogical Sciences
Head of Group
Melnikov Permafrost Institute Siberian Branch
Russian Academy of Sciences
Yakutsk, Merzlotnaya st., 36

Spector Valentin Vladimirovich

Candidate of Geologo-Mineralogical Sciences
Head of Laboratory
Melnikov Permafrost Institute Siberian Branch
Russian Academy of Sciences
Yakutsk, Merzlotnaya st., 36

Введение (Introduction)

Инженерно-геологическая карта Республики Саха (Якутия) масштаба 1:1500000 необходима для планирования, реализации и эксплуатации технических проектов на территории Республики и смежных регионов. Научное значение карты заключается в систематизации данных по особенностям распределения различных природных факторов, их взаимовлиянии и прогноз изменения окружающей среды при возведении и эксплуатации инженерных сооружений.

На карте показаны грунтовые и геокриологические условия (рис. 1) а на картах врезках (1:1500000) – экзогенные и эндогенные процессы, схемы районирования по различным факторам инженерно-геологических условий и общая схема инженерно-геологического районирования территории РС (Я). Каждый из районов охарактеризован с точки зрения главных черт геологического строения, тектонических особенностей, новейшей тектоники, активных экзогенных процессов, агрессивности надмерзлотных вод, преобладающего комплекса видов и разновидностей грунтов. Составлены отдельные мелкомасштабные схемы районирования надмерзлотных вод, строения криолитозоны, сейсмичности.

Предлагаемую карту можно считать продолжением работ по составлению Современной Инженерно-геологической карты России, начатой в 2008 г.

Карта составлена в электронном варианте в формате «ArcGIS 10 version 10.1». На электронном макете карты картографируемая информация, согласно легенде к карте, была сгруппирована по следующим разделам: 1) инженерно-

геологические группы и виды грунтов и геокриологические факторы; 2) гидро-геологические факторы; 3) активные разрывные нарушения; 4) рельеф и 5) гидрографическая сеть.

Рис. 1. Инженерно-геологическая карта РС (Я). Масштаб 1:1 500 000

Материалы и методы (Materials and Methods)

При составлении карты были использованы материалы среднемасштабной геологической съемки, а также обобщения по изданным в разные годы работам [1, 2, 3, 4]. Рассмотрены в значительной части фондовые работы, хранящиеся в фондах Государственного комитета по геологии и недропользованию РС (Я) и фондах Института мерзлотоведения СО РАН.

Основным содержательным элементом представляемой карты является грунтовый фактор инженерно-геологических условий, который отображается цветом. Наиболее устойчивые разновидности грунтов и их сочетаний, отображаются на карте менее яркими и светлыми оттенками, наименее прочные – более густыми и яркими.

В условиях повсеместного распространения многолетней мерзлоты грунт является составной частью единой криогенной геосистемы. Под криогенной геосистемой [5] понимается геологическое образование (в нашем случае грунтовое тело, совокупность грунтовых тел) вместе с совокупностью ледяных включений (криогенное строение). Рассмотрим собственно грунтовую составляющую. Под термином «грунты» понимаются «любые горные породы, почвы, осадки и антропогенные геологические образования, рассматриваемые как многокомпонентные динамичные системы, исследуемые в связи с планируе-

мой, осуществляемой или осуществленной инженерной деятельностью человека» [6]. Сложность и многокомпонентность грунта подчеркивается и в более поздних работах В.Т. Трофимова [7, с. 4]. В нашем случае, в области сплошного распространения многолетней мерзлоты, грунтовая составляющая является основой криогенной геосистемы, которая состоит из двух подсистем: литогенной и криогенной. Как пишет А.Н. Хименков [5]: «литогенная основа является системообразующим фактором, который через закономерные изменения вещественного состава определяет особенности процессов криогенеза и, в конечном счете, пространственное распределение и морфологию ледяных элементов. Выбор литогенной (грунтовой по Спектору В.Б.) составляющей в качестве базового структурного элемента позволяет выделять границы криогенных (мерзлотно-грунтовых по Спектору В.Б.) геосистем различных иерархических уровней» [5, с. 77]. На карте выделены криогенные геосистемы низких иерархических уровней – грунтовые «монопородные» тела или их ассоциации, объединяемые по признаку сходства физических и, прежде всего, прочностных свойств, в том числе и обусловленных разными температурами грунтов.

Тем не менее, в рамках принятого подхода, криогенный фактор, в плане оценки физических свойств грунтов, не имеет самостоятельного значения. Как показано выше [5, 8], этот фактор формирует криогенную подсистему единой криогенной геосистемы. «Криогенная подсистема представлена ледяными включениями или целиком состоит из льда» [5, с. 77]. В определение не включен температурный показатель. Для нашей карты такой показатель имеет большое значение, поскольку от него зависят прочностные свойства грунтов.

Мерзлые льдистые дисперсные грунты, имеющие температуру выше -5°C являются пластично-мерзлыми, а ниже этого порога являются твердомерзлыми.

Для отражения криогенной составляющей (температуры и льдистости), по которой выделяются разновидности мерзлых грунтов, применяются цифровые обозначения. В итоге обозначение разновидности грунта на карте показано в виде дроби, в которой цифра в числителе обозначает вид грунта и соответствует номеру знака в разделе легенды «грунтовые условия», а знаменатель характеризует разновидность грунта и соответствует номеру знака в разделе легенды «геокриологические факторы».

Гидрогеологический фактор отображается на карте крапом. В пределах территории подавляющее распространение имеют надмерзлотные гравитационные воды криолитозоны, которые подразделяются на три подтипа: надмерзлотная верховодка, воды сезонноталого слоя, надмерзлотные грунтовые воды [9]. Современные активные разрывные нарушения показаны на карте в виде красных линий.

Легенда карты состоит из трех разделов, каждый из которых посвящен важнейшим факторам инженерно-геологических условий: грунтовой и геокриологической составляющим и гидрогеологическому фактору. Самостоятельными знаками выделяются площади распространения видов и разновидностей грунтов, мощности которых составляют 10 и более метров

Грунтовая (литогенная) составляющая (рис. 1) занимает первый раздел легенды. Мерзлые грунты в инженерной геологии подразделяются на те, же таксономические единицы, что и талые грунты. По сравнению с традиционно выделяемыми группами собственно скальных и полускальных, дисперсных грунтов, в легенде выделяется группа ассоциации скальных и полускальных грунтов, сочетания полускальных и дисперсных грунтов. В самостоятельную группу выделены «двухслойные» разрезы, в которых верхняя часть представлена дисперсными грунтами мощностью от 3 до 10 м, а нижняя другими классами и группами грунтов. Всего в легенде выделено 124 вида и разновидности грунтов, влияющих на инженерно-геологические свойства территории.

Криогенная составляющая отражена во втором разделе легенды.

Параметры выделения этой составляющей представлены в таблице 1.

Номера знаков, проставленные в легенде, представляют собой знаменатель цифрового обозначения знака на карте. Числитель этой дроби, как было показано выше, может отвечать любому из 124 знаков цифрового обозначения грунтовой составляющей.

Для оценки инженерно-геологических условий наибольшее значение имеет глубина залегания и агрессивность надмерзлотных вод. Агрессивность надмерзлотных вод разделена на виды: сульфатная, общекислотная, воды разной агрессивности и неагрессивные.

Таблица 1. Геокриологический фактор инженерно-геологических условий

Класс и группа	Среднегодовая температура грунтов	Льдистость (номер знака в легенде)			Физические свойства
		Сильная	Средняя	Слабая	
Скальные и полускальные грунты	Среднегодовая температура многолетнемерзлых грунтов ниже -5 °С	1	2	3	
	Среднегодовая температура многолетнемерзлых грунтов -3÷-5 °С	4	5	6	
	Среднегодовая температура многолетнемерзлых грунтов -1÷-3 °С (прерывистая мерзлота)	7	8	9	
	Среднегодовая температура многолетнемерзлых грунтов 0÷-1 °С (островная и прерывистая мерзлота)	10	11	12	
Дисперсные грунты и сочетание дисперсных и полускальных грунтов	Среднегодовая температура многолетнемерзлых грунтов ниже -5 °С	13	14	15	Твердомерзлые грунты
	Среднегодовая температура многолетнемерзлых грунтов -3÷-5 °С	16	17	18	Пластичномерзлые грунты
	Среднегодовая температура многолетнемерзлых грунтов -1÷-3 °С (прерывистая мерзлота)	19	20	21	
	Среднегодовая температура многолетнемерзлых грунтов 0÷-1 °С (островная и прерывистая мерзлота)	22	23	24	
	Частое чередование талых и многолетнемерзлых грунтов	25			

На большей части территории распространены неагрессивные надмерзлотные воды с глубиной залегания менее 3 м. Около 1,5 млн. кв. км территории Якутии является сейсмоопасной, что соответствует 30 % всей сейсмоактивной территории России. Территорию Якутии пересекают два сейсмических пояса: Арктико-Азиатский (ААСП) и Байкало-Становой (БССП).

Обсуждение и заключение (Discussion and Conclusion)

Построенная по изложенным выше принципам Инженерно-геологическая карта территории РС (Я) позволила отразить основные особенности инженерно-геологических условий весьма разнородной по своему геологическому строению и природным условиям территории. Районирование территории РС (Я) по особенностям инженерно-геологических условий проведено с учетом региональных факторов по принципам, изложенным В.Т. Трофимовым [10]. Наиболее крупные региональные единицы, выделяемые на карте, – области принадлежат к одной из крупных тектонических структур (платформа, горно-складчатая область, молодая платформа и др.), в которых преобладает однотипный рельеф (горный, равнинный, равнинно-низменный или др.). В качестве единиц подчиненного ранга выделены районы, основным признаком которых является преимущественное распространение грунтов одного класса или группы или их устойчивых сочетаний.

В пределах территории РС (Я) выделяются следующие инженерно-геологические области: I. Равнин и плато Средней Сибири; II. Горная Верхояно-Колымская; III. Приморских низменностей и шельфа; IV. Охотско-Чукотская; V. Алдано-Становая.

Инженерно-геологическая область Средней Сибири выделена по принципу принадлежности к одной крупной тектонической структуре – Сибирской платформе. Территория области характеризуется активными положительными движениями в новейшее время. Байкало-Становой горный пояс ограничивает область с юга, а Верхояно-Чукотский – с востока. Благодаря унаследованности тектонических движений на протяжении мезозойской и кайнозойской истории сформировалась одна из основных особенностей геологического строения платформы – наиболее древние (докембрийские) породы приурочены к положительным морфоструктурам, молодые к отрицательным. Кратко охарактеризуем особенности выделенных в пределах данной области районов.

1.1. Анабарский район расположен в северо-западной части области, в пределах крупной структуры Сибирской платформы – Анабарского массива [3, 11]. Здесь преимущественно распространены скальные морозные грунты, относящиеся к архею: гнейсы, плагиогнейсы, кристаллические сланцы, кварциты, реже кальцифиры, мраморы. Одной из основных особенностей района является самая значительная мощность криолитозоны на территории Сибири (около 1500 м). Район относится к Анабарскому плоскогорью. Вершинная поверхность располагается на высотах 400-500 м, максимальные отметки достигают 700 м. Здесь распространены неагрессивные надмерзлотные воды с глубиной залегания до 3 м. Активные экзогенные процессы формируют осыпи, обвалы, оползни, курумы, морозобойное растрескивание, солифлюкция, глубинная эрозия.

1.2. В тектоническом отношении *Оленекский район* принадлежит к Анабарской антеклизе [11] и характеризуется преимущественным развитием скальных морозных карбонатных грунтов, относящихся к кембрию. Меньше распространены морозные скальные терригенно-карбонатные грунты рифея и венда, редкие изолированные поля в пределах района сложены эффузивно-терригенными и терригенными полускальными морозными грунтами перми, триаса и очень редко карбона. Район занимает крайнюю восточную часть Среднесибирского плоскогорья. Высота вершинной поверхности плавно повышается в северном направлении и составляет 200-400 м. Активные экзогенные процессы представлены (в порядке убывания) осыпобразованием, курумообразованием, солифлюкцией, карстообразованием в карбонатных грунтах, морозобойным растрескиванием, заболачиванием. Преобладают неагрессивные надмерзлотные воды с глубиной залегания до 3 м.

1.3. *Лено-Вилуйский район* приурочен к внешней части Вилуйской синеклизы, а также Ангара-Вилуйскому прогибу [3, 11]. В пределах района преимущественным распространением пользуются твердомерзлые грунты, представленные ассоциацией терригенных дисперсных полускальных грунтов ниже- и среднеюрского возраста (в порядке убывания): песчаниками, песками, конгломератами, галечниками, глинами, алевролитами, аргиллитами, углями. К юго-западу от Сунтарской излучины в бассейне р. Кэмпэндээй (Кемпендяйские дислокации) известны выходы мерзлых растворимых грунтов: каменных солей, гипсов (кыгылтусская и намдырская свиты девонского возраста). Рельеф района относится к переходной области между Центрально-Якутской равниной и Среднесибирским плоскогорьем. Вершинная поверхность занимает высотные уровни 200-400 м. Экзогенные процессы носят умеренно активный характер и представлены осыпобразованием, оползнеобразованием, солифлюкцией, курумообразованием, морозобойным растрескиванием, термоэрозией боковой и донной. В пределах района распространены неагрессивные надмерзлотные воды с глубиной залегания до 3 м. В районе Кемпендяйских дислокаций, а также в бассейнах среднего течения р.р. Б. и М. Ботуобия распространены воды сульфатно-агрессивные с глубиной залегания до 3 м.

1.4. *Тунгусский район* располагается в пределах Тунгусской синеклизы. Здесь преимущественным распространением пользуются твердо-мерзлые полускальные и скальные вулканогенно-терригенные грунты пермо-триасового возраста, а также морозные скальные магматогенные грунты (базальты и диабазы). В долинах рек распространены скальные мерзлые грунты карбонатного и терригенно-карбонатного состава нижнепалеозойского возраста. Территория относится к Среднесибирскому плоскогорью. Вершинная поверхность располагается на отметках 300-500 м. Территория характеризуется высокой степенью расчлененности и большими относительными перепадами высот. Преобладающими экзогенными процессами являются осыпобразование, курумообразование, обвалы, морозобойное растрескивание, донная эрозия. Распространены неагрессивные надмерзлотные воды с глубиной залегания до 3 м.

1.5. Центрально-Якутский район в тектоническом отношении соответствует центральной части Вилуйской синеклизы. Здесь широкое распространение имеют пластично- и твердомерзлые дисперсные сильно льдистые грунты (суглинки и супеси), относящиеся к ледовому комплексу четвертичного возраста, дисперсные сыпучемерзлые песчаные грунты слагающие тукуланы, твердо- и пластичномерзлые льдистые песчаные грунты, выполняющие широкие долины рек, а в предгорьях Верхоянского хребта – грубообломочные твердомерзлые грунты, имеющие ледниковый генезис. По периферии Вилуйской синеклизы и в отдельных окнах среди дисперсных грунтов имеются поля развития пластично-мерзлых грунтов смешанной группы – дисперсных и полускальных: песков, алевролитов, глин, песчаников, алевролитов, каменных углей мелового возраста. Распространены двуслойные разрезы грунтового комплекса, в которых верхняя (до 10 м) часть сложена пластичномерзлыми дисперсными льдистыми грунтами, а нижняя пластично- или твердомерзлыми ассоциациями дисперсных и полускальных грунтов. Вся рассматриваемая территория относится к Центрально-Якутской равнине и характеризуется гибким положением вершинной поверхности (100-200 м). Наиболее активными экзогенными процессами являются термокарст, заболачивание, ветровой перенос песков (тукуланы), солифлюкция, боковая термоэрозия, термосуффозия на тукуланах. В пределах района распространены неагрессивные надмерзлотные воды с глубиной залегания до 3 м.

1.6. Верхне-Ленский район относится к Предбайкальскому краевому прогибу. Грунты представлены карбонатными, терригенно-карбонатными с пластами растворимых грунтов (гипсы) мерзлыми и талыми скальными малольдистыми видами и разновидностями. Этот район характеризуется развитием массивно-островной мерзлоты и наличием участков частого чередования талых и мерзлых пород. Вся территория в геоморфологическом отношении входит в Приленское плато. Вершинная поверхность здесь располагается на высотах 400-600 м. Рельеф характеризуется высокой степенью расчлененности. Среди активных экзогенных процессов преобладают осыпеобразование, курумообразование, оползни, карбонатный карст, эрозия и термоэрозия. Преимущественно распространены воды сульфатной агрессивности с глубиной до 3 м и иногда до 10 м.

1.7. Лено-Алданский район относится к Алданской антеклизе. Здесь исключительным распространением пользуются морозные карбонатные и терригенно-карбонатные скальные грунты, относящиеся к толщам нижнего кембрия. Относительно крупные участки территории относятся к зоне прерывистой мерзлоты, где небольшие массивы карбонатных пород находятся в талом состоянии. В южной части территории известны поля развития скальных грунтов магматического происхождения – щелочные граниты, сиениты. В геоморфологическом отношении район относится к центральной части Приленского плато. Вершинная поверхность плавно поднимается в южном направлении от высот около 500 м до высот 700-800 м. Активные экзогенные процессы представлены осыпе- и курумообразованием, оползнями, карстообразованием, солифлюкцией, морозобойным растрескиванием. На большей части района развиты неагрессивные надмерзлотные воды с глубиной менее 3 м. На отдельных участках, в южной части района, распространены воды с сульфатной агрессивностью.

1.8. Амгинский район принадлежит восточной части Алданской антеклизы. В его пределах преимущественно распространено сочетание малолдыстых дисперсных пластичномерзлых и морозных полускальных грунтов. Район относится к восточной части Приленского плато. Высотные отметки вершинной поверхности изменяются в пределах 300-470 м. Экзогенные процессы представлены осыпями, оползнями, солифлюкционными явлениями, щелевидными долинами, карбонатными карстовыми нишами и суходолами. Надмерзлотные воды неагрессивны, глубина залегания менее 3 м.

1.9. Анабаро-Оленекский район приурочен к северо-западной части Сибирской платформы и соответствует в тектоническом отношении Лено-Анабарскому мезозойскому прогибу. Здесь распространены дисперсные льдистые твердомерзлые суглинки четвертичного возраста и сочетания твердомерзлых дисперсных и морозных полускальных грунтов мезозойского возраста. Территория района относится к восточной части обширной Северо-Сибирской низменности. Отметки вершинной поверхности опускаются до 30-40 м. Широко распространены оползни, солифлюкционные террасы, осыпи, термокарст, термоэрозия. Воды района – надмерзлотные неагрессивные с глубиной залегания менее 3 м.

Верхояно-Колымская область охватывает значительную часть Верхояно-Колымской складчатой системы: антиклинории и синклинории, расположенные между Сибирской платформой и Колымским массивом [11]. В области выделяется 3 инженерно-геологических района: Верхоянский на западе области, Черско-Момский – на востоке и разделяющий их Янский – в центральной части области. На юго-западе области выделяется Сетте-Дабанский район, который резко отличается карбонатным составом грунтов от смежного с ним Верхоянского, продолжением которого он является.

II.1. Верхоянский район соответствует поясу антиклинориев, расположенному на границе Сибирской платформы и Верхояно-Колымской области мезозойской складчатости. В районе распространены дислоцированные морозные полускальные терригенные грунты (песчаники, алевролиты и аргиллиты) Верхоянского комплекса верхнепалеозойского и мезозойского возраста. Редко встречаются скальные карбонатные и терригенно-карбонатные морозные грунты (породы докембрия), скальные магматические грунты (граниты мезозойского возраста). Район охватывает низкогорные сооружения кряжей Прончищева и Чекановского и среднегорный Верхоянский хребет с абсолютными отметками до 2300 м. Широко распространены активизированные разрывные нарушения и явления, как обвалы, осыпи, курумы, оползни, термоэрозия, морозобойное растрескивание. Надмерзлотные воды характеризуются общекислотной агрессивностью и глубиной залегания менее 3 м.

II.2. Янский район охватывает область между поднятиями хребтов Верхоянского и Черского. Преимущественно распространены терригенные морозные полускальные грунты (песчаники, алевролиты, аргиллиты) триасового и юрского возраста, реже, в горст-антиклинориях, карбонатные и терригенно-карбонатные морозные грунты ниже-среднепалеозойского возраста и скальные магматические морозные грунты (гранитоиды) мезозойского возраста. Широко

распространены впадины, выполненные дисперсными мерзлыми грунтами (песками, суглинками, галечниками) кайнозойского возраста. Наиболее крупные положительные элементы рельефа: Куларский хребет (максимальные отметки до 1300 м), Янское плоскогорье (до 1770 м), Эльгинское плоскогорье (до 1700 м), Оймяконское плоскогорье (до 2000 м). Особенности рельефа и фации кайнозойских осадков указывают на интенсивные тектонические положительные движения, амплитуда которых возрастает с севера на юг. Активно протекают осыпи, оползни, курумы, реже обвалы, термоэрозия, морозобойное расстрескивание. Во впадинах, в зонах развития ледового комплекса, распространен термокарст. Надмерзлотные воды имеют общекислотную агрессивность и приповерхностное залегание (до 3 м).

II.3. Черско-Момский район охватывает область антиклинориев и представляет собой наиболее сложную и активную, вплоть до настоящего времени, часть Верхояно-Колымской горно-складчатой системы. В пределах хр. Черского с запада на восток выделяются следующие мезозойские тектонические структуры: Иньяли-Дебинский синклиний, Тас-Хаяхтахский горст антиклинорий, Момский горст-антиклинорий, Уяндино-Ясачненский вулканогенный пояс. Распространены преимущественно скальные грунты мезозойского и палеозойского возраста: терригенные, карбонатные, магматические и вулканогенные. Территория современной Момской впадины и Момского хребта относятся к мезозойскому Момо-Зырянскому прогибу [11]. В пределах Момо-Зырянской впадины (включая и Момский хребет) распространены морозные полускальные терригенные грунты позднеюрского и мелового возраста: песчаники, алевролиты, аргиллиты, гравелиты, конгломераты, редко каменные угли. В четвертичной Момской впадине распространены мерзлые грубообломочные грунты ледникового и склонового генезиса, в меньшей степени мерзлые аллювиальные пески и галечники. Рассматриваемая территория относится к зоне очень активных современных дифференцированных вертикальных и горизонтальных движений и высокой сейсмичности. В пределах хр. Черского известны наиболее высокие отметки на Северо-Востоке России (3147 м). Экзогенные процессы (обвалы, осыпи, курумы, наледи, карст, термоэрозия), среди которых преобладают склоновые, характеризуются высокой степенью активности. Надмерзлотные воды относятся к типу общекислотно-агрессивных малоглубинных.

II.4. Сетте-Дабанский район относится к одноименному антиклинорию.

В его пределах распространены мерзлые карбонатные и терригенно-карбонатные грунты, рифея, венда, кембрия, ордовика и силура. Наиболее высокие горные массивы располагаются на севере района и достигают 2400 м. Территория характеризуется активными современными движениями – преимущественно положительными. Экзогенные процессы типичны для горных районов данной области – осыпи, обвалы, курумы, карст, эрозия. Надмерзлотные воды общекислотно-агрессивного малоглубинного типа.

Большая часть области Приморских низменностей в тектоническом отношении представляет собой молодой (четвертичный) прогиб, располагающийся на современной пассивной континентальной окраине. Мезозойский тектонический фундамент этой территории скрыт под покровом кайнозойских осадков и

выходит на отдельных возвышенностях Приморской низменности и островах Новосибирского архипелага. По строению и пространственному положению в области выделяются 3 инженерно-геологических района.

III.1. Яно-Колымский район охватывает всю Приморскую низменность, дельту р. Лены и низменность в районе п-ова Мамонтов Клык. Мезозойский фундамент этой территории относится к двум складчатым системам Верхояно-Колымской (западная часть) и Новосибирско-Чукотской (восточная часть). Граница между системами проходит вдоль Святоносско-Олойского вулканогенного пояса. Последний протягивается от нижнего течения р. Колымы (устье р. Омо-лон) к мысу Св. Нос на берегу пролива Дмитрия Лаптева. Преимущественно распространены твердомерзлые дисперсные высокольдистые грунты четвертичного возраста, которые относят к ледовому комплексу. На побережье морей Лаптевых и Восточно-Сибирского моря распространен арктический тип ледового комплекса, в котором содержится 60-80 % и более льдов, слагающих повторно-жильные образования мощностью первые десятки метров. В более южных участках низменности и на побережье моря Лаптевых распространен континентальный тип ледового комплекса, в котором содержится до 60 % текстурообразующих и повторно-жильных льдов. Значительную часть площади района слагают участки развития твердомерзлых илисто-торфяных грунтов, выполняющих осушенные участки озерных котловин – аласы. Такие же грунты вскрываются и на дне многочисленных термокарстовых озер. Меньше распространены песчаные твердомерзлые грунты, четвертичного возраста, которые приурочены главным образом к дельте р. Лены. Очень ограниченно развиты морозные песчаные угленосные грунты палеогенового и неогенового возраста. Низменность характеризуется практически горизонтальным положением вершинной поверхности с низкими (до 100 м) средними отметками. Небольшие островные возвышенности (340-540 м) протягиваются от мыса Св. Нос в сторону побережья Селляхской губы. Для района характерны термоабразия, оползни, термокарст, морозобойное растрескивание, заболачивание. Надмерзлотные воды района неагрессивны.

III.2. Новосибирский район охватывает острова Новосибирского архипелага, цоколь которых, в тектоническом отношении, принадлежит мезозойской Новосибирско-Чукотской складчатой системе. В пределах островов преимущественным распространением пользуются твердомерзлые дисперсные грунты ледового комплекса. На о-ве Котельном распространены поля развития морозных карбонатных и терригенно-карбонатных скальных и полускальных грунтов раннего и среднего палеозоя. Восточная часть о-ва Котельный – Земля Бунге представляет собой поле развития твердомерзлых песчаных морских грунтов. На о-ве Новая Сибирь известны небольшие поля морозных дисперсных песчаных и супесчаных грунтов палеоген-неогенового возраста. На о-ве Б. Ляховский известны выходы морозных терригенных полускальных и скальных интрузивных (граниты) грунтов. Рельеф островов низменный, в среднем не превышающий первых десятков метров над уровнем моря. Максимальные отметки известны на о-ве Б. Ляховский – 293 м. Для островов характерна низкая расчле-

ненность рельефа, указывающая на малоамплитудные современные положительные движения. Подъем уровня моря, вероятно, происходит с большей скоростью, что обеспечивает высокие темпы термоабразии берегов. Основные активные экзогенные процессы – термоабразия, оползни, термокарст, морозобойное растрескивание, заболачивание. Надмерзлотные воды района неагрессивны.

III.3. Колымский район в тектоническом отношении – современная межгорная впадина. На большей части территории района распространены твердомерзлые дисперсные льдистые грунты ледового комплекса, твердомерзлые органоминеральные грунты донных отложений осушенных участков озер (аласов). Ограниченное распространение имеют терригенные морозные песчаные грунты палеогенового и неогенового возраста, еще меньшее грубообломочные склоновые четвертичные твердомерзлые грунты. Из докайнозойских образований широким распространением пользуются морозные полускальные и скальные грунты вулканогенного генезиса мелового возраста, полускальные кристаллические сланцы среднепалеозойского возраста, полускальные вулканогенно-терригенные грунты юрского возраста. Большая (восточная) часть территории района относится к Колымской низменности, для этой территории свойственно низкое положение вершинной поверхности (в среднем до 50 м), над которой возвышаются (до 250 м) небольшие островные массивы. Активные экзогенные процессы в этой части района – термокарст, заболачивание, подтопление. В западной части района, на Алазейском плоскогорье, вершинная поверхность которого поднимается до 800-900 м, преобладают восходящие тектонические движения, которые сопровождаются осыпями, оползнями, глубинной эрозией. Надмерзлотные воды района неагрессивны.

К Охотско-Чукотской области отнесены небольшие участки, расположенные вдоль восточной границы территории РС (Я), объединенные относительно широким распространением вулканогенных образований позднемезозойского возраста. В данной области выделено несколько пространственно разобщенных районов.

IV.1. Сунтарский район располагается в южной части хребта Сунтар-Хаята и представляет собой часть Верхояно-Колымской складчатой системы [11], охваченную вулканизмом в конце мезозоя. Здесь распространены морозные полускальные терригенные (алевролиты, аргиллиты, песчаники) верхнепалеозойского и раннемезозойского возраста и полускальные вулканогенные и вулканогенно-осадочные грунты. Район относится к самой высокой (до 2800 м) части хр. Сунтар-Хаята и характеризуется глыбовыми восходящими движениями в четвертичное время. Экзогенные процессы – обвалы, осыпи, оползни, курумы, донная эрозия. Надмерзлотные воды характеризуются общекислотной агрессивностью.

IV.2. Юкагирский район в тектоническом отношении отвечает Приколымскому горст-антиклинорию Верхояно-Колымской складчатой системы, затронутому вулканизмом в конце мезозоя. В его пределах распространены докембрийские морозные скальные метаморфические и вулканогенные, скальные

карбонатные и терригенно-карбонатные палеозойские, скальные и полускальные туфогенные и терригенные верхнепалеозойские и мезозойские, меловые вулканогенные полускальные грунты. В межгорных впадинах преобладают твердомерзлые грубообломочные грунты ледникового и склонового происхождения. В пределах Юкагирского плоскогорья вершинная поверхность располагается в интервалах высот 300-1100 м. Активные экзогенные процессы: на поднятиях – осыпи, курумы, оползни, донная эрозия; во впадинах – заболачивание, боковая эрозия. Агрессивность вод – общекислотная.

IV.3. Анюйско-Омолонская район охватывает участок Олойской вулканогенной впадины. В пределах вулканогенной Олойской впадины распространены морозные полускальные вулканогенные девонские, туфо-терригенные полускальные мезозойско-верхнепалеозойские, скальные интрузивные меловые, вулканогенные меловые грунты. В небольших впадинах развиты твердомерзлые тонкодисперсные грунты ледового комплекса. На правом берегу приустьевом отрезке р. Колымы распространены мерзлые полускальные терригенные триасовые, вулканогенные полускальные юрские, скальные интрузивные меловые и вулканогенные полускальные меловые грунты. Рельеф рассматриваемого участка характеризуется высотами вершин до 1000 м. Активные экзогенные процессы – осыпи, оползни, курумы, солифлюкция, морозобойное растрескивание, донная эрозия. Надмерзлотные воды неагрессивны.

Алдано-Становая область представлена одним районом, который относится к Алданскому щиту Сибирской платформы. Самая южная часть рассматриваемой территории, относящаяся к Становому хребту и Алданское нагорье представляют собой молодой ороген, активизированный, скорее всего, в позднем кайнозое. В пределах территории щита преимущественно распространены морозные и талые кристаллические метаморфогенные грунты (кристаллосланцы, гнейсы, плагиогнейсы, кварциты, реже кальцифиры, мраморы, метагаббро), интрузивные (граниты, щелочные граниты) грунты, относящиеся к архею. Менее распространены морозные скальные терригенные грунты протерозоя, талые и морозные карбонатные скальные грунты венда и кембрия. Во впадинах наблюдаются малольдистые мерзлые, морозные и талые смешанные по классам группам (полускальные и дисперсные) терригенные грунты: песчаники, пески, алевролиты, аргиллиты, угли, алевроиты, конгломераты. Подчиненное значение имеют мерзлые дисперсные обломочные грунты, относящиеся к аллювиальным и ледниковым образованиям. Рельеф района характеризуется глыбово-блоковым, а на отдельных участках линейно-блоковым строением. По границам блоков вершинная поверхность испытывает перемещения по высоте на 1000 м и более. На приподнятых блоках вершинная поверхность располагается на высотах около 1700 м, а в опущенных – 700-800 м и менее. Область характеризуется активизацией разнообразных склоновых процессов – обвалов, осыпей, оползней, курумов, солифлюкции. Весьма активны и эрозионные процессы, в частности, донная эрозия. Большая часть территории (на севере и Становом хребте) принадлежит к зоне распространения надмерзлотных вод общекислотной агрессивности с глубиной менее 3 м. Участки мезозойских впадин относятся к зонам неагрессивных надмерзлотных малоглубинных (до 3 м) вод. На

участках талых пород распространены неагрессивные грунтовые воды с глубиной залегания 3-10 м.

Анализ представленных материалов позволяет предварительно оценить инженерно-геологические условия РС (Я) и выделить территории наименее устойчивые в инженерно-геологическом отношении.

При оценке грунтовых условий к наименее устойчивым территориям относятся, в первую очередь, площади развития дисперсных высокольдистых грунтов – «ледовый комплекс», охватывающие область Приморских низменностей и Центрально-Якутский район области Средней Сибири. Небольшие участки развития этого комплекса в виде маломощных покровов встречаются практически повсеместно на всей территории Республики и выделены на карте в виде верхнего слоя двухслойных разрезов.

Низкотемпературные (ниже -5°C), твердомерзлые разновидности занимают большую часть области Приморской низменности. И в этих условиях рассматриваемые грунты характеризуются высокой чувствительностью по отношению к внешнему воздействию. На участках выхода этих грунтов на побережье арктических морей наблюдаются высокие скорости термоабразии (несколько десятков метров в год), а в береговых обрывах русел рек – высокие скорости боковой эрозии (до 20 м/год). На поверхности полей распространения этой разновидности грунтов протекает интенсивный термокарст, даже в условиях среднегодовых температур около -15°C – -20°C . Нарушение напочвенного покрова этой разновидности грунтов приводит к заболачиванию и последующему нарастанию термокарста.

Высокотемпературные разновидности (выше -5°C) ледового комплекса сосредоточены в Центрально-Якутском районе. Здесь они подвергаются интенсивному разрушению в результате природных и антропогенных воздействий. Инженерные сооружения, использующие эти грунты в качестве оснований без специальных мероприятий, регулирующих их тепловой режим, характеризуются крайне низкими степенями устойчивости. Остальные виды грунтов на территории РС (Я) имеют значительно более высокую степень устойчивости и могут быть использованы в качестве оснований инженерных сооружений при условии соблюдения определенных правил регулирования их теплового режима.

При оценке динамических условий (экзогенных и эндогенных процессов), помимо площадей развития ледового комплекса, наименее благоприятной для инженерных сооружений являются Верхояно-Колымская, Охотско-Чукотская и Алдано-Становая области, характеризующиеся интенсивным проявлением склоновых процессов и высокой сейсмичностью. Также следует принять во внимание, что некоторые площади РС (Я) характеризуются развитием крайне низких зимних температур (ниже -40°C), которые вызывают температурные деформации инженерных сооружений. Эти площади охватывают Центрально-Якутский район и практически всю Верхояно-Колымскую область.

Таким образом, все упомянутые выше районы можно отнести к неблагоприятным в инженерно-геологическом отношении территориям. Их общая площадь составляет около 70 % территории республики.

Список используемых источников:

1. Геологическая карта Якутской АССР. Масштаб 1:1500000. Редактор Л.И. Красный. Омск, 1978.
2. Геологическая карта Республики Саха Якутия. Масштаб 1:15000000. Редактор В.А. Янжиншин. Л.: Картафабрика ВСЕГЕИ, 2006.
3. Геология Якутской АССР. М.: Недра, 1981. 300 с.
4. Геокриологическая карта СССР масштаба 1:2500000. Картпредприятие, 1997.
5. Хименков А.Н. Геосистемный подход в геокриологии // Криосфера Земли. 2013. Т. XVII. № 2. С. 74-82.
6. Трофимов В.Т. Термин «грунт»: ретроспектива и современное содержание // Вестник Моск. Ун-та. Сер. 4. Геология. 2000. №1. С. 58-61.
7. Трофимов В.Т., Вознесенский Е.А. Королев, В.А. Инженерная геология России. Т. 1. М.: КДУ, 2011. 672 с.
8. Мельников В.П. и др. Криогенные геосистемы: проблемы исследования и моделирования. Новосибирск: Гео, 2010. 390 с.
9. Шепелев В.В. Надмерзлотные воды криолитозоны. Новосибирск: Гео, 2011, 169 с.
10. Трофимов В.Т., Красилов Н.С. Инженерно-геологические карты. М.: КДУ, 2007. 384 с.
11. Мокшанцев К.Б. Тектоника Якутии. Новосибирск: Наука, 1975. 198 с.

References:

1. Geological Map of Yakut ASSR. Scale 1:1,500,000. Editor L.I. Krasnyi. Omsk, 1978.
2. Geological Map of the Republic of Sakha (Yakutia). Scale 1:1,500,000. Editor V.A. Yanzhinshin. Leningrad, 2006.
3. Geology of Yakut ASSR. Moscow: Nedra, 1981. 300 p.
4. Geocryological Map of the USSR. Scale 1:2,500,000. Cartographic factory, 1997.
5. Khimenkov A.N. Geosystem Approach in Geocryology. Earth's Cryosphere. 2013. Vol. XVII. №2. P. 74-82.
6. Trofimov V.T. The Term "ground": Retrospective and Contemporary Content. Vestnik of Moscow University. 2000. V. 4. Geology. № 1. P. 58-61.
7. Trofimov V.T., Voznesenskiy E.A., Korolev V.A. Engineering Geology of Russia. Vol. 1. Moscow: KDU, 2011. 672 p.
8. Melnikov V.P. and etc. Cryogenic Geosystems: Problems of the Research and Modeling. Novosibirsk: Geo, 2010. 390 p.
9. Shepelev V.V. Suprapermafrost Water in the Cryolithozone. Novosibirsk: Geo, 2011. 169 p.
10. Trofimov V.T., Krasilova N.S. Engineering-Geological Maps: Study Guide. Moscow: KDU, 2007. 384 p.
11. Mokshantsev K.B. The Tectonics of Yakutia. Novosibirsk: Nauka, 1975. 198 p.

© 2015, Спектор В.Б., Шестакова А.А.,
Торговкин Я.И., Спектор В.В.
Обобщение данных о криолитозоне на
инженерно-геологической карте Республики
Саха (Якутия) масштаба 1:1 500 000

© 2015, Spector V.B., Shestakova A.A., Torgovkin Y.I.,
Spector V.V.
Permafrost Information in the Engineering Geological
Map of the Republic of Sakha (Yakutia), Scale
1:1,500,000

DOI: 10.17117/nv.2015.02.074

Поступила (Received): 22.06.2015

pku@npi-tu.ru

Шабельская Н.П., Власенко А.И. Синтез наноразмерного хромита цинка и его каталитические свойства

Shabelskaya N.P., Vlasenko A.I.
Synthesis of nano-sized chromite
of zinc and its catalytic properties

В работе изучен процесс образования нанокристаллического хромита цинка с использованием реакции получения и термического разложения прекурсоров на основе комплексных соединений катионов переходных металлов с лимонной кислотой. Обсужден механизм формирования образцов. Показано, что формирование однофазного образца протекает с выделением помимо основной фазы шпинели $ZnCr_2O_4$ дополнительно фазы сульфата цинка моногидрата, который разлагается при последующей термической обработке. Полученные материалы охарактеризованы с привлечением метода рентгенофазового анализа, Дебая-Шеррера, BET. Синтезированные материалы имеют вид рыхлого пористого порошка и развитую поверхность. Значения площади поверхности, измеренной методом BET, составляют 53,6 м²/г. Установлена высокая каталитическая активность синтезированных материалов в реакции Фентона на примере процесса каталитической деструкции метилового оранжевого в присутствии пероксида водорода. Полученные результаты могут быть полезны для выбора материалов, перспективных для применения в системах очистки сточных вод промышленных предприятий, использующих в производственных циклах органические красители

Ключевые слова: шпинели, хромиты, катализатор Фентона

The paper studies the process of formation of nanocrystalline zinc chromite reaction using obtain and thermal decomposition of precursors on the basis of complex compounds of transition metal cations with citric acid. Discussed the mechanism of formation samples. It is shown that the formation of the single phase specimen occurs with the release in addition to the main phase of spinel $ZnCr_2O_4$ advanced phase of zinc sulfate monohydrate, which decomposes during the subsequent thermal treatment. The resulting materials were characterized with the use of the method X-ray diffraction, Debye-Scherrer, BET. The synthesized materials have the form of loose powder porous and large surface area. The values of surface area measured by the BET amount of 53.6 m²/g. Set high catalytic activity of synthesized materials in Fenton's reaction on the example of the process of catalytic degradation of methyl orange in the presence of hydrogen peroxide. The obtained results can be useful for the selection of materials, promising for application in wastewater treatment of industrial enterprises using in production of organic dyes

Key words: spinels, chromites, catalyst of Fenton

Шабельская Нина Петровна
Кандидат технических наук, доцент
Южно-Российский государственный
политехнический университет (НПИ)
им. М.И. Платова
г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132

Shabelskaya Nina Petrovna
Candidate of Engineering Sciences,
associate Professor
The Southern Russian State Polytechnical University
(NPI) of M. I. Platov
Novocherkassk, st. Prosvesheniya, 132

Власенко Андрей Иванович

Студент

Южно-Российский государственный
политехнический университет (НПИ)

им. М.И. Платова

г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132

Vlasenko Andrey Ivanovitsh

Student

The Southern Russian State Polytechnical University
(NPI) of M. I. Platov

Novocherkassk, st. Prosvesheniya, 132

Введение (Introduction)

Оксидные системы со структурой шпинели на основе хромита цинка ZnCr_2O_4 широко используют в качестве катализаторов технически важных процессов, например дегидроциклизации этилендиамина в реакции с глицерином [1, с. 398], прямого метилирования толуола с использованием синтез-газа [2, с. 90], кетонизации карбоновых кислот [3, с. 253], он активен в процессах фотокатализа [4, с. 95, 5, с. 266] и может быть использован в качестве розовых керамических пигментов [6, с. 6981]. Несмотря на многолетние исследования оксидных систем на основе хромита цинка, интерес к таким объектам не ослабевает и в наши дни.

К традиционным методам получения шпинелей следует отнести керамический (из оксидов соответствующих металлов) [7, с. 20, 8, с. 6589], разложение гидроксидов и солей [8, с. 6589]. Внимание исследователей в последние годы концентрируется на изучении возможностей синтеза наноразмерных материалов со структурой шпинели [9, с. 1898, 10, с. 26]. Для получения подобных образцов используют различные методы, в частности – разложение органического компонента реакционной смеси, в качестве которого могут выступать глицин [9, с. 1899], лимонная кислота [11, с. 1205], полиакридамид [12, с. 76]. Нанокристаллические материалы обладают рядом преимуществ по сравнению с хорошо окристаллизованными поликристаллическими образцами, наиболее существенное из которых – наличие развитой поверхности. Особенно важным данное обстоятельство выступает в процессах, в которых решающим фактором эффективности выступает количество активных центров на единицу массы образца – адсорбционными, каталитическими. Целью настоящего исследования являлось изучение возможности получения наноразмерного хромита цинка, характеристика его структурных особенностей и каталитической активности в реакции окислительной деструкции метилового оранжевого в присутствии пероксида водорода.

Материалы и методы (Materials and Methods)

Исходными веществами для получения образцов служили растворы с концентрацией 1.0 моль/л, приготовленные из сульфата хрома (III) 18-водного $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$, нитрата цинка (II) 6-водного $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ квалификации «хч». Смесь растворов в стехиометрическом соотношении помещали в реакционный сосуд из нержавеющей стали, добавляли концентрированный водный раствор аммиака, поддерживая значения pH в интервале 7.5-8, затем смешивали с раствором лимонной кислоты концентрации 6.0 – 7.0 моль/л, выпаривали до образования сухого остатка и подвергали термообработке до полного разложения органической составляющей.

Фазовый состав изучали на дифрактометре ARL X'TRA, использовали Cu-K α излучение. Идентификацию фазы шпинели проводили по линиям 111, 220, 311, 222, 400, 422, 511, 440. Определение площади поверхности проводили методом БЕТ на аппарате ChemiSorb 2750 в ЦКП «Нанотехнологии» Южно-Российского государственного политехнического университета (НПИ) имени М.И. Платова.

Расчет среднего размера кристаллов D , нм, проводили по уравнению Дебая-Шеррера [13, с. 204] по линии 311:

$$D = \frac{0.94 \cdot \lambda}{B \cdot \cos \Theta}$$

где $\lambda = 1,5406$ нм – длина волны, B – полная ширина пика на уровне половины интенсивности, Θ – угол дифракции.

Изучение каталитической активности синтезированных материалов проводили на модельном растворе метилового оранжевого по методике, описанной в [14, с. 99]. Определение концентрации метилового оранжевого в растворе проводили фотоколориметрическим методом. Степень каталитической деструкции (P) вычисляли по формуле

$$P = \frac{C_0 - C}{C_0} 100$$

где C_0 – начальная концентрация раствора, мг/л; C – текущее значение концентрации раствора, мг/л.

Результаты (Results)

Рентгенограмма синтезированного материала приведена на рис. 1. На рентгенограмме образца (рис. 1, а) присутствуют линии, характеризующие фазы кубической шпинели (PDF Number 010-75-4052) и $ZnSO_4 \cdot H_2O$ (PDF Number 000-12-0781). Для получения однофазных материалов образцы были подвергнуты дополнительной термической обработке при температуре 800 °С в течение 30 минут. В результате синтезированные материалы представляли собой однофазные образцы со структурой кубической шпинели (рис.1, б).

**Рис. 1. Рентгенограмма образца $ZnCr_2O_4$.
Индексированы линии, принадлежащие шпинели**

Образующийся материал имеет вид рыхлого пористого порошка с развитой поверхностью. Значения среднего размера кристаллитов (по уравнению Дебая-Шеррера) составляют $D = 2,5$ нм, площади поверхности (по методу BET) $S_{\text{BET}} = 53,6$ м²/г.

Обсуждение и заключение (Discussion and Conclusion)

Формирование структуры образца ZnCr_2O_4 может протекать по следующему механизму. В водном растворе соли диссоциируют по схеме

В присутствии раствора аммиака образуются осадки гидроксидов:

которые затем растворяются при введении в реакционную систему лимонной кислоты

с формированием хелатных комплексов с участием катионов железа и цинка.

При последующем нагревании происходит разложение комплексов с образованием дисперсного порошка шпинели ZnCr_2O_4 .

Образование нитрата аммония в ходе реакции

и его последующее термическое разложение может способствовать локальному увеличению температуры в зоне реакции и ускорять процесс формирования структуры.

При наличии в системе сульфата хрома (III) возможна дополнительно реакция формирования сульфата цинка

Температура реакционной системы, по-видимому, не достаточна для его разложения, и ZnSO_4 входит в состав продукта синтеза. При проведении заключительного отжига сульфат цинка разлагается с формированием однофазной кубической шпинели.

Изучение каталитической активности синтезированных материалов проводили на примере реакции окислительной деструкции метилового оранжевого в присутствии пероксида водорода. В ходе проведенного исследования установлено, что хромит цинка проявляет каталитическую активность в реакции Фентона. Временная зависимость количества метилового оранжевого, подвергнувшегося деструкции, приведена на рис. 2.

Рис. 2. Зависимость степени разложения метилового оранжевого от времени протекания реакции

Согласно результатам проведенного исследования, в рассматриваемом процессе удастся достичь практически полного удаления (степень деструкции 97%) органического вещества из водного раствора. Полученные результаты могут быть полезны для выбора материалов, перспективных для применения в системах очистки сточных вод промышленных предприятий, использующих в производственных циклах органические красители.

Список используемых источников:

1. Venugopal A., Sarkari R., Anjaneyulu C., Krishna V., Kumar M.K., Narender N., Padmasri A.H. Influence of acid-base sites on ZnO-ZnCr₂O₄ catalyst during dehydrocyclization of aqueous glycerol and ethylenediamine for the synthesis of 2-methylpyrazine: Kinetic and mechanism studies // *Applied Catalysis A: General*. 2014. Vol. 469. P. 398-409.
2. Lee S., Kim D., Lee J., Choi Y., Suh Y.-W., Lee C., Kim T.J., Lee S.J., Lee J.K. An in situ methylation of toluene using syngas over bifunctional mixture of Cr₂O₃/ZnO and HZSM-5 // *Applied Catalysis A: General*. 2013. Vol. 466. P. 90-97.
3. Bayahia H., Kozhevnikova E.F., Kozhevnikov I.V. Ketonisation of carboxylic acids over Zn-Cr oxide in the gas phase // *Applied Catalysis B: Environmental*. 2015. Vol. 165. P. 253-259.
4. Xu X., Xie Y., Ni S., Azad A., Cao T. Photocatalytic H₂ production from spinels ZnGa_{2-x}Cr_xO₄ (0 ≤ x ≤ 2) solid solutions // *Journal of Solid State Chemistry*. 2015. Vol. 230. P. 95-101.
5. Xia S., Zhang L., Zhou X., Shao M., Pan G., Ni Z. Fabrication of highly dispersed Ti/ZnO-Cr₂O₃ composite as highly efficient photocatalyst for naphthalene degradation // *Applied Catalysis B: Environmental*. 2015. Vol. 176-177. P. 266-277.
6. Prim S.R., Garcí'a A., Galindo R., Cerro S., Llusar M., Folgueras M.V., Monro's G. Pink ceramic pigments based on chromium doped M(Al_{2-x}Cr_x)O₄, M=Mg, Zn, normal spinel // *Ceramics International*. 2013. Vol. 39. P. 6981-6989.
7. Шабельская Н.П., Иванов В.В., Таланов В.М., Резниченко Л.А., Таланов М.В., Ульянов А.К. Синтез и фазообразование в системе NiO-CuO-Fe₂O₃-Cr₂O₃ // *Стекло и керамика*. 2014. № 1. С. 20-24.
8. Gaikwad R.S., Chae S.-y., Mane R.S., Gangri C., Han S.-H., Joo O.-S. Large area (9x9 cm²) electrostatically sprayed nanocrystalline zincite thin films for hydrogen production application // *International J. Hydrogen Energy*. 2010. V. 35. P. 6549-6553.
9. Priyadharsini P., Pradeep A., Chandrasekaran G. Novel combustion route of synthesis and characterization of nanocrystalline mixed ferrites of Ni-Zn // *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*. 2009. Vol. 321. P. 1898-1903.
10. Guin D., Baruwati B., Manorama S.V. A simple chemical synthesis of nanocrystalline AFe₂O₄ (A = Fe, Ni, Zn): An efficient catalyst for selective oxidation of styrene // *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*. 2005. Vol. 242. P. 26-31.
11. Шабельская Н.П. Процессы фазообразования в системе NiO – CuO – Fe₂O₃ – Cr₂O₃ при разложении солей // *Неорганические материалы*. 2014. Т. 55. № 11. С. 1205-1209.

12. Иванов В.В., Ульянов А.К. Шабельская Н.П. Ферриты-хромиты переходных элементов: синтез, структура, свойства. М.: Акад. Естествознания, 2013. 93 с.
13. Jang J.S., Hong S.J., Lee J.S. Synthesis of Zinc Ferrite and Its Photocatalytic Application under Visible Light // *Journal of the Korean Physical Society*. 2009. V. 54. No. 1. P. 204-208.
14. Шабельская Н.П., Власенко А.И., Сулима С.И., Сулима Е.В. Изучение процессов формирования структуры ферритов-хромитов переходных элементов // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2015. № 8. С. 99-103.

References:

1. Venugopal A., Sarkari R., Anjaneyulu C., Krishna V., Kumar M.K., Narender N., Padmasri A.H. Influence of acid-base sites on ZnO-ZnCr₂O₄ catalyst during dehydrocyclization of aqueous glycerol and ethylenediamine for the synthesis of 2-methylpyrazine: Kinetic and mechanism studies. *Applied Catalysis A: General*. 2014. Vol. 469. P. 398-409.
2. Lee S., Kim D., Lee J., Choi Y., Suh Y.-W., Lee C., Kim T.J., Lee S.J., Lee J.K. An in situ methylation of toluene using syngas over bifunctional mixture of Cr₂O₃/ZnO and HZSM-5. *Applied Catalysis A: General*. 2013. Vol. 466. P. 90-97.
3. Bayahia H., Kozhevnikova E.F., Kozhevnikov I.V. Ketonisation of carboxylic acids over Zn-Cr oxide in the gas phase. *Applied Catalysis B: Environmental*. 2015. Vol. 165. P. 253-259.
4. Xu X., Xie Y., Ni S., Azad A., Cao T. Photocatalytic H₂ production from spinels ZnGa_{2-2x}Cr_xO₄ (0≤x≤2) solid solutions. *Journal of Solid State Chemistry*. 2015. Vol. 230. P. 95-101.
5. Xia S., Zhang L., Zhou X., Shao M., Pan G., Ni Z. Fabrication of highly dispersed Ti/ZnO-Cr₂O₃ composite as highly efficient photocatalyst for naphthalene degradation. *Applied Catalysis B: Environmental*. 2015. Vol. 176-177. P. 266-277.
6. Prim S.R., Garcí'a A., Galindo R., Cerro S., Llusar M., Folgueras M.V., Monro's G. Pink ceramic pigments based on chromium doped M(Al_{2-2x}Cr_x)O₄, M=Mg, Zn, normal spinel. *Ceramics International*. 2013. Vol. 39. P. 6981-6989.
7. Shabel'skaya N.P., Ivanov V.V., Talanov V.M., Reznichenko L.A., Talanov M.V., Ul'yanov A.K. Synthesis and phase formation in the system NiO-CuO-Fe₂O₃-Cr₂O₃. *Glass and Ceramics*. 2014. Vol. 71. Nos. 1-2. P. 18-22.
8. Gaikwad R.S., Chae S.-y., Mane R.S., Gangri C., Han S.-H., Joo O.-S. Large area (9x9 cm²) electrostatically sprayed nanocrystalline zincite thin films for hydrogen production application. *International J. Hydrogen Energy*. 2010. V. 35. P. 6549-6553.
9. Priyadharsini P., Pradeep A., Chandrasekaran G. Novel combustion route of synthesis and characterization of nanocrystalline mixed ferrites of Ni-Zn. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*. 2009. Vol. 321. P. 1898-1903.
10. Guin D., Baruwati B., Manorama S.V. A simple chemical synthesis of nanocrystalline AFe₂O₄ (A = Fe, Ni, Zn): An efficient catalyst for selective oxidation of styrene. *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*. 2005. Vol. 242. P. 26-31.
11. Shabel'skaya N. P. Phase Formation Processes in the NiO – CuO – Fe₂O₃ – Cr₂O₃ System upon Salt Decomposition. *Inorganic Materials*. 2014. Vol. 50. No. 11. P. 1114-1118.
12. Ivanov V.V., Ulyanov A.K. Shabel'skaya N.P. Ferrites-chromites of transition elements: synthesis, structure, properties. M., 2013. 93 p.
13. Jang J.S., Hong S.J., Lee J.S. Synthesis of Zinc Ferrite and Its Photocatalytic Application under Visible Light. *Journal of the Korean Physical Society*. 2009. V. 54. No. 1. P. 204-208.
14. Shabel'skaya N.P., Vlasenko A.I., Sulima S.I., Sulima E.V. Study of the processes of structure formation of ferrite-chromites of transition elements. *International Journal of Applied and Fundamental Research*. 2015. No. 8. P. 99-103.

DOI: 10.17117/nv.2015.02.080

Поступила (Received): 14.05.2015

Арьков Р.В.
Исследование проблемы очистки
хозяйственно-бытовых сточных вод
в Оренбургском регионе

Arkov R.V.
Research issues treatment of domestic
sewage in Orenburg region

Одной из важнейших проблем жизнеобеспечения населенных пунктов в Российской Федерации является проблема очистки сточных вод. Ежегодно в наши водоемы сбрасывается 62 кубических километра сточных вод, из них более половины без должной очистки. Общий объем загрязняющих веществ, ежегодно поступающих в водные объекты составляет свыше 10 млн. тонн. Если говорить по Оренбургской области, то здесь ситуация следующая: в Оренбургской области 57 населенных пунктов и городов с численностью населения более трех тысяч человек в каждом. Согласно расчетам по усредненным показателям водоотведения на человека по данным населенным пунктам на очистку поступает порядка 400 тыс.м³/сут. Чтобы обеспечить нормативную очистку такого количества сточных вод необходимо 57 современных комплексов очистки сточных вод производительностью 4 тыс. м³/сут. Сегодняшние цифры по системе ЖКХ Оренбургской области, к сожалению, показывают, что проблема в регионе практически не решается

Ключевые слова: водоотведение, водоснабжение, загрязнение

One of the major problems of life support settlements in the Russian Federation is the problem of cleaning up sewage. Every year in our waters dumped 62 cubic kilometers of wastewater, of which more than half without proper cleaning. The total volume of pollutants each year entering the water bodies of over 10 million. Tons. Speaking in the Orenburg region, the situation is as follows: in the Orenburg Region 57 towns and cities with a population of more than three thousand people each. According to the calculations of averages wastewater per person according to the Human Settlements cleaning receives about 400 m³ / day. To ensure that such a number of normative clean sewage systems must be 57 modern sewage treatment capacity of 4 thousand. m³/ day. Today's figures for the system utilities Orenburg region, unfortunately, show that the problem in the region is practically not solved

Key words: sewerage, water supply, pollution

Арьков Роман Васильевич
Магистрант
Оренбургский государственный университет
г. Оренбург, пр. Победы, 13

Arkov Roman Vasilievitch
Master
Orenburg State University
Orenburg, Victory ave., 13

При проектировании генеральных планов развития населенных пунктов особое внимание уделяется системам инженерно-технического обеспечения. Производительность очистных сооружений согласно СНиП рассчитывается

исходя из численности населения территории и среднесуточных показателей водоотведения на 1 человека.

Мы провели исследование проблемы очистки хозяйственно-бытовых сточных вод в Оренбургском регионе. По данным федеральной службы государственной статистики в Оренбургской области 57 населенных пунктов и городов с численностью населения более трех тысяч человек в каждом. Согласно расчетам по усредненным показателям водоотведения на человека по данным населенным пунктам на очистку поступает порядка 400 тыс. м³/сут. Чтобы обеспечить нормативную очистку такого количества сточных вод необходимо 57 современных комплексов очистки сточных вод производительностью 4 тыс. м³/сут. Сегодняшние цифры по системе ЖКХ Оренбургской области, к сожалению, показывают, что проблема в регионе практически не решается [1, 4, 5, 6].

Одной из важнейших проблем жизнеобеспечения населенных пунктов в Российской Федерации является проблема очистки сточных вод. Ежегодно в наши водоемы сбрасывается 62 кубических километра сточных вод, из них более половины без должной очистки. Общий объем загрязняющих веществ, ежегодно поступающих в водные объекты составляет свыше 10 млн. тонн. К этому нужно прибавить загрязняющие вещества, поступающие в реки и озера с территории 100 тыс. населенных пунктов вместе с ливневыми стоками. Загрязнение водных объектов на территории России остается стабильно высоким, при этом относительно чистые реки остались только там, где проживает меньшая часть населения страны – в Сибири и на Дальнем Востоке [1,4,5,6].

В частности, в Латинской Америке очистку проходит лишь около 20% общего объема сточных вод, а вся необходимая информация имеется лишь для девяти из 32 стран, причем зачастую она датирована 1996-2002 годами. Даже в Европе полный набор данных о сточных водах доступен лишь для 10 стран, частичный – для 2/3 всего региона, нет такой статистики для Албании, Финляндии, Исландии и Норвегии. Доля объема сточных вод, проходящего специальную обработку, составляет около 71%. Сейчас развитые страны в среднем очищают 70% стоков, страны со средним уровнем доходов – 28-38%, а бедные страны – лишь 8%. Однако, например, в Северной Америке, где ежегодный объем сточных вод оценивается примерно в 85 кубических километров, из 61 кубокилометра, который проходит очистку, на повторное использование направляется лишь 2,3, или менее 4%.

Свыше 60% общего объема сброса загрязненных сточных вод в Российской Федерации обеспечивают предприятия жилищно-коммунального хозяйства. Причинами этого являются значительный износ очистных сооружений, применение устаревших технологий очистки сточных вод и прием объектами жилищно-коммунального хозяйства загрязненных стоков городских промышленных предприятий. По мнению большинства специалистов, в настоящее время на многих российских предприятиях, предоставляющих услуги водоотведения, существует ряд типичных проблем, которые нуждаются в скорейшем разрешении. Принципиальная важность нахождения решения связана с экологическими аспектами.

Главным загрязнителем воды в России продолжает оставаться жилищно-коммунальное хозяйство. Сегодня 95% городских стоков поступающих в реки

очищены хуже, чем предусматривают российские нормативы. Более 70% (13,7 куб. км) подлежащих очистке сточных вод сбрасываются недостаточно очищенными, почти 20% (3,7 куб. км) – загрязненными без очистки, и только 10% (1,9 куб. км) – очищенными до установленных нормативов [1,4,5,6].

При этом износ сетей канализации в каждом третьем случае составляет 100%. В то же время принимаемые меры по строительству очистных сооружений в жилищно-коммунальном хозяйстве носят эпизодический характер.

Жилищно-коммунальное хозяйство (ЖКХ) играет важную роль в создании благоприятных экологических условий проживания населения в городских и сельских поселениях, в сохранении и восстановлении природных ресурсов. Оно призвано обеспечивать население страны питьевой водой и осуществлять канализацию сточных вод с учетом требований к качеству вод, поступающих в поверхностные водные объекты. Экологически благоприятное состояние водных объектов обеспечивается надежностью работы очистных сооружений канализационного хозяйства [1,4,5,6].

Объем сбрасываемых в поверхностные водоемы сточных вод предприятиями, объединенными данным видом деятельности, составляет 9688 млн м³, в т.ч. загрязненных – 8431 млн м³. В ряде городов вклад предприятий ЖКХ в сброс загрязненных сточных вод в поверхностные водные объекты весьма значителен и составляет: в Москве и Омске – больше 90%, Ульяновске и Санкт-Петербурге – до 80%, Волгограде – до 70%, Нижнем Новгороде, Саратове и Воронеже – около 50% [1,4,5,6].

Анализ статистических данных свидетельствует об увеличении в последние годы сбросов загрязненных сточных вод в поверхностные водные объекты. По состоянию на 2012 общий объем сбросов составил 200,7 млн.м³, в сравнении с предыдущим годом, увеличился на 79,38 млн.м³ (40%).

Оренбургская область является важным индустриально-аграрным регионом Российской Федерации, располагает ограниченными водными ресурсами. На одного жителя области приходится около 430 тыс. куб. метров воды, что значительно ниже средних показателей стока по стране. Всего Оренбургская область располагает 12,6 куб. километра воды в год, формирующейся речным стоком в средний год по водности.

Многолетние наблюдения показывают, что качество вод поверхностных водных объектов Оренбургской области остается неудовлетворительным (таблица 1).

По данным Росводресурсов из государственного доклада «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2012 г.» доля нормативно-очищенных сточных вод в общем объеме водоотведения в поверхностные водные объекты по Оренбургской области составляет 0,04 %.

По категориям сточных вод на выпуске в поверхностные водотоки лидирующее место в Оренбургской области занимают нормативно-чистые (без очистки) воды, составляющие в общем объеме водоотведения 92,6 %. Технологические нормативно-чистые (без очистки) воды на выпуске в поверхностные водные объекты являются термальными, с незначительными концентрациями загрязняющих веществ, не превышающих уровни действующих нормативов [2,3,7].

Таблица 1. Классификация водных объектов по степени загрязнения

Класс качества и характеристика загрязнения	Наименование водного объекта и створа
2 класс – «слабо загрязненная»	р. Урал – 5,4 километра ниже устья ручья Известковый Дол
3 «а» класс – «загрязненная»	р. Урал – пос. Березовский Ириклинское водохранилище – пос. Энергетик р. Урал – 1 километр выше г. Орска р. Урал – 5 километровнижег. Оренбурга р. Урал – 1 километр ниже пос. Илек р. Большая Уртазымка – с. Сосновка р. Суундук – пос. Майский устье р. Сакмара – г. Оренбург р. Блява – 1 километрвышег. Медногорска р. Большой Ик – с. Спасское р. Салмыш – с. Буланово р. Самара – 1 километр выше г. Бузулука р. Ток – 1 километр ниже с. Ероховка р. Дема – 1 километр ниже с. Наурузово
3 «б» класс – «очень загрязненная»	р. Урал – 2,9 километра ниже впадения ручья Известковый Дол р. Урал – 0,5 километра ниже г. Оренбурга р. Сакмара – с. Татарская Каргала р. Бузулук – с. Перевозниково р. Самара – 1 километрнижег. Бузулука р. БольшойКинель – г. Бугуруслан
4 «а» класс – «грязная»	р. Илек – пос. Веселый
4 «б» класс – «грязная»	р. Блява – 0,5 километра ниже г. Медногорска

Второе место – 131,63 млн. м³ – 7,4 % от общего объема отведения в поверхностные водные объекты занимают возвратные воды, отнесенные к категории загрязненных, включающие в себя загрязненные без очистки и недостаточно – очищенные.

Доля нормативно-очищенных сточных вод в общем объеме сброса занимает последнее место и составляет 0,51 млн. м³ в год – 0,03 %.

Ежегодно, со сточными водами в поверхностные водные объекты осуществляется выпуск специфических загрязняющих веществ по 14 ингредиентам – более 36 879,9 тонн.

Остальные водоохраные комплексы, эксплуатируемые 30 и более лет, морально и физически устарели, работают с низкой эффективностью, не отвечают требованиям современных технологий. Должным образом не осуществляется очистка сточных вод.

Отсутствуют сооружения по очистке сточных вод в районных центрах: Асекеево, Александровка, Домбаровка, Кваркено, Плешаново, Светлый, Северный, Ташла, Курманаевка, Тоцкое, Шарлык [2,3,7].

Необходимо проведение реконструкции очистных сооружений, отвечающих современным требованиям по степени очистки и методам обеззараживания сточных вод, с полным канализованием населенных пунктов, в том числе в городах:Абдулино, Бугуруслан, Гай, Кувандык, Медногорск, Новотроицк, Орск, Соль-Илецк, Сорочинск, Ясный, в поселках Тоцкое-2 и Первомайский, а также в

районных центрах – Акбулак, Грачевка, Матвеевка, Новосергиевка, Октябрьское, Переволоцк, Пономаревка, Тюльган [2,3,7].

Для сохранения и восстановления водных объектов необходимо:

- формирование перечня наилучших существующих технологий для систем и комплексов сооружений очистки сточных вод;
- осуществление научных и опытно-конструкторских работ по разработке инновационных технологий очистки сточных вод;
- разработку экологически ориентированных нормативов качества и целевого состояния водных объектов, механизмов учета факторов формирования регионального фонового состояния водных объектов;
- развитие методов гидрологического, гидрохимического, гидробиологического мониторинга водных объектов;
- разработку научных методов оценки объемов и степени негативного влияния рассредоточенного (диффузного) стока с хозяйственно освоенных территорий и технологических решений по его сокращению;
- обоснование принципов, подходов и технологий восстановления водных объектов, утративших способность к самоочищению.
- разработка методов и моделей формирования речного стока, направленных на повышение качества прогноза и заблаговременности предупреждения об опасных гидрологических явлениях;
- разработка методов сравнительной экономической эффективности для принятия решений о строительстве или реконструкции объектов инженерной защиты;
- разработка новых научных подходов и технологий проектирования и строительства объектов инженерной защиты.

Список используемых источников:

1. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2012 году». URL: http://www.mnr.gov.ru/upload/iblock/96e/gosdoklad%2020_07_2013.pdf
2. Областная целевая программа «Оздоровление экологической обстановки Оренбургской области в 2011-2015 годах». URL: http://www.orenburg-gov.ru/magnoliaPublic/regportal/blob?filetype=NPA&filename=02_09_2.53.5_N%20553-%D0%BF%D0%BF_20.08.2010_1.pdf
3. О водоохранной обстановке на территории Оренбургской области, проблемах по соблюдению требований водного и природоохранного законодательства Российской Федерации в бассейнах рек Оренбургской области, подлежащих федеральному государственному контролю и надзору (по итогам проверок за 2012 год). URL: http://rpn.orb.ru/nadzor_woter.html
4. Жилищное хозяйство в России 2013. Статистический сборник. М.: Росстат, 2013. URL: http://www.gks.ru/free_doc/doc_2013/rus13.pdf
5. Жилищное хозяйство в России 2010. Статистический сборник. М.: Росстат, 2010. URL: http://www.gks.ru/free_doc/doc_2010/rus13.pdf
6. Доклад заместителя руководителя Управления Росприроднадзора по Оренбургской области. URL: <http://rpn.orb.ru/people.html>
7. Государственный водный кадастр. Обобщенные данные использования вод за 2006 год. Росводресурсы. М.: Водниинформпроект, 2007.

References:

1. State report "On condition and protection of environment of the Russian Federation in 2012". URL: http://www.mnr.gov.ru/upload/iblock/96e/gosdoklad%2020_07_2013.pdf

2. The regional target program "Improvement of ecological situation of the Orenburg region in 2011-2015".
URL: http://www.orenburg-gov.ru/magnoliaPublic/regportal/blob?filetype=NPA&filename=02_09_2.53.5_N%20553-%D0%BF%D0%BF_20.08.2010_1.pdf
3. About the water protection situation on the territory of the Orenburg region, issues on compliance with water and environmental legislation of the Russian Federation in the basins of rivers of the Orenburg region, subject to Federal state control and supervision (based on the results of inspections in 2012).
URL: http://rpn.orb.ru/nadzor_woter.html
4. Housing in Russia in 2013. The statistical compilation. M.: Rosstat, 2013.
URL: http://www.gks.ru/free_doc/doc_2013/rus13.pdf
5. Housing in Russia 2010. The statistical compilation. M.: Rosstat, 2010.
URL: http://www.gks.ru/free_doc/doc_2010/rus13.pdf
6. The report of the Deputy head of Rosprirodnadzor in the Orenburg region.
URL: <http://rpn.orb.ru/people.html>
7. The state water cadastre. Summary data of water use for 2006. Rosvodresursy. M: Vodniiinformproekt, 2007.

© 2015, Арьков Р.В.

Исследование проблемы очистки хозяйственно-бытовых сточных вод в Оренбургском регионе

© 2015, Arkov R.V.

Research issues treatment of domestic sewage in Orenburg region

DOI: 10.17117/nv.2015.02.086

Поступила (Received): 06.04.2015

Воронков С.С. Уточнение второго закона Ньютона

Voronkov S.S.
Refinement of Newton's second law

Предлагается форма записи второго закона Ньютона, учитывающая наличие электронной среды. Уточняются понятия массы и сил инерции. Установлено, что силы инерции – центробежные, кориолисовы, есть силы, действующие на тело со стороны электронной среды при ее ускорении. Показано, что полную производную по времени во втором законе Ньютона необходимо записывать как сумму локальной и конвективной производных. Рассмотрено движение тела в цилиндрических координатах. Силы инерции – центробежные, кориолисовы, выводятся автоматически из уточненного второго закона Ньютона без дополнительных предположений и гипотез, как это делается в классической механике. Отмечается, что в гидродинамике уже давно, начиная с работ Эйлера, второй закон Ньютона записывается с учетом центробежных и кориолисовых сил. Показано, что во вращающемся сосуде с водой, под действием центробежных сил, будет происходить подъем воды у стенок сосуда. Свободная поверхность жидкости при этом представляет собой параболоид вращения, обращенный вогнутостью кверху.

Ключевые слова: второй закон Ньютона, электронная среда

Воронков Сергей Семенович

Кандидат технических наук, доцент, зав. кафедрой
Псковский государственный университет
г. Псков, пл. Ленина, 2

Proposed form of the Newton's second law, which takes into account the presence of the electronic media. Clarifies the concept of mass and inertia forces. It is found that the inertia forces – centrifugal, Coriolis, there are forces acting on the body from the electronic medium during its acceleration. It is shown that the total time derivative of Newton's second law must be written as the sum of local and convective derivatives. The motion of a body in cylindrical coordinates. The inertial forces – centrifugal, Coriolis, are derived automatically from the refined Newton's second law without additional assumptions and hypotheses, as in classical mechanics. It is noted that in hydrodynamics for a long time, starting with the works of Euler, Newton's second law is written taking into account the centrifugal and Coriolis forces. It is shown that in a rotating vessel with water under the influence of centrifugal forces, will occur in the rise of water the vessel walls. The free liquid surface when this is a paraboloid of revolution, a concavity facing upwards.

Key words: Newton's second law, electronic environment

Voronkov Sergey Semenovich

Candidate of Technical Sciences, assistant Professor
Pskov State University
Pskov, Lenin sq., 2

В работе [1] показано, что пространство заполнено электронной средой, в которой электроны сохраняют ближний порядок. Масса тела есть мера взаимодействия вещества, состоящего из нуклонов, с электронной средой. На макро-уровне электронная среда подвижна, что и делает ее «невидимой».

Запишем полученный в работе [1] второй закон Ньютона в виде

$$\mathbf{F} = m \frac{d\mathbf{V}}{dt}, \quad (1)$$

где $\mathbf{F}$ – сила, m – масса тела, $\mathbf{V}$ – скорость движения тела.

В классической механике второй закон Ньютона часто записывают и в иной форме

$$\mathbf{F} = m \frac{d\mathbf{V}}{dt} = m\mathbf{a} = \frac{d(m\mathbf{V})}{dt} = \frac{d\mathbf{p}}{dt}, \quad (2)$$

где $\mathbf{a} = \frac{d\mathbf{V}}{dt}$ – ускорение тела; $\mathbf{p} = m\mathbf{V}$ – импульс или количество движения тела.

Второй закон в интерпретации Ньютона формулируется следующим образом [2]: «Изменение количества движения пропорционально приложенной движущей силе и происходит по направлению той прямой, по которой эта сила действует».

В классической механике считается, что второй закон Ньютона выполняется в инерциальных системах отсчета. В неинерциальных системах отсчета для пользования вторым законом Ньютона в него необходимо ввести дополнительно переносные и кориолисовы силы инерции. Этот прием выглядит искусственно и всегда вызывал много нареканий и вопросов. Здесь также возникает вопрос: со стороны каких тел действуют силы инерции? Так как для них нельзя указать, со стороны каких тел они действуют, то считается, что на силы инерции не распространяется третий закон Ньютона. По этой причине в некоторых работах [3,4] их относят к «псевдо», «нереальным», «фиктивным» силам.

Характерной особенностью сил инерции является пропорциональность их, также как и сил тяготения, массе тела.

Но проблема обнаружения тел, со стороны которых действуют силы инерции, существует только в том случае, если мы не учитываем электронную среду, заполняющей все пространство. В нашем представлении масса тела есть мера взаимодействия тела с электронной средой. Пропорциональность сил инерции массе тела свидетельствует о том, что они действуют на тело со стороны электронной среды.

Изложенное позволяет следующим образом определить силы инерции: силы инерции представляют собой силы, действующие на тело со стороны электронной среды при ее ускорении. Здесь подчеркнем, что электронная среда – это не абстрактная философская категория, а реальная среда, состоящая из электронов и которая на макроуровне подвижна.

Полная производная по времени для сплошной подвижной среды в переменных Эйлера расписывается как сумма локальной и конвективной производных [5]

$$\frac{d\mathbf{V}}{dt} = \frac{\partial \mathbf{V}}{\partial t} + (\mathbf{V} \cdot \nabla) \mathbf{V} = \frac{\partial \mathbf{V}}{\partial t} + \text{rot} \mathbf{V} \times \mathbf{V} + \text{grad} \left(\frac{V^2}{2} \right). \quad (3)$$

где $\frac{\partial \mathbf{V}}{\partial t}$ – локальное ускорение; $(\mathbf{V} \cdot \nabla) \mathbf{V}$ – конвективное ускорение;

$\nabla = i \frac{\partial}{\partial x} + j \frac{\partial}{\partial y} + k \frac{\partial}{\partial z}$ – дифференциальный оператор набла.

Учитывая, что тело массой m находится в сплошной подвижной электронной среде, его ускорение представим как сумму локального и конвективного ускорений. Тогда, принимая во внимание (3), второй закон Ньютона (1) переписывается

$$\mathbf{F} = m \cdot \left(\frac{\partial \mathbf{V}}{\partial t} + \text{rot} \mathbf{V} \times \mathbf{V} + \text{grad} \left(\frac{V^2}{2} \right) \right). \quad (4)$$

Приведенная уточненная форма записи второго закона Ньютона учитывает наличие центробежных и кориолисовых сил. Покажем это.

Рассмотрим движение тела в цилиндрических координатах r, ε, z , ось z направим вертикально вверх. Пусть тело вращается с постоянной скоростью ω вокруг оси z и движется в радиальном направлении с постоянной скоростью V_r – рис. 1. Составляющие скорости будут равны $V_r, V_\varepsilon = \omega r, V_z = 0$.

**Рис. 1. Движение тела
в цилиндрических координатах**

Проекции $\text{rot} \mathbf{V}$ найдутся

$$\left. \begin{aligned} \text{rot}_r \mathbf{V} &= \frac{1}{r} \frac{\partial V_z}{\partial \varepsilon} - \frac{\partial V_\varepsilon}{\partial z} = 0, \\ \text{rot}_\varepsilon \mathbf{V} &= \frac{\partial V_r}{\partial z} - \frac{\partial V_z}{\partial r} = 0, \\ \text{rot}_z \mathbf{V} &= \frac{1}{r} \cdot \left(\frac{\partial (r V_\varepsilon)}{\partial r} - \frac{\partial V_r}{\partial \varepsilon} \right) = 2\omega. \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Тогда

$$\text{rot} \mathbf{V} \times \mathbf{V} = \begin{vmatrix} \mathbf{e}_r & \mathbf{e}_\varepsilon & \mathbf{e}_z \\ 0 & 0 & 2\omega \\ V_r & V_\varepsilon & 0 \end{vmatrix} = -\mathbf{e}_r 2\omega^2 r - \mathbf{e}_\varepsilon (-2\omega V_r). \quad (6)$$

Проекции градиента квадрата скорости найдутся

$$\left. \begin{aligned} \text{grad}_r \left(\frac{V^2}{2} \right) &= \frac{1}{2} \frac{\partial (\omega^2 r^2 + V_r^2)}{\partial r} = \omega^2 r, \\ \text{grad}_\varepsilon \left(\frac{V^2}{2} \right) &= \frac{1}{2r} \frac{\partial (\omega^2 r^2 + V_r^2)}{\partial \varepsilon} = 0. \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

Второй закон Ньютона (4) в проекциях на оси r, ε , с учетом (6) и (7), запишется

$$\left. \begin{aligned} m \left(\frac{\partial V_r}{\partial t} - \omega^2 r \right) &= F_r, \\ m \left(\frac{\partial V_\varepsilon}{\partial t} + 2\omega V_r \right) &= F_\varepsilon. \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Перепишем систему уравнений (8) в следующем виде

$$\left. \begin{aligned} m \frac{\partial V_r}{\partial t} &= F_r + m\omega^2 r, \\ m \frac{\partial V_\varepsilon}{\partial t} &= F_\varepsilon - 2m\omega V_r. \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

Второй член в правой части первого уравнения системы (9) представляет собой центробежную силу инерции

$$F_{ц} = m\omega^2 r. \quad (10)$$

Второй член в правой части второго уравнения системы (9) представляет собой кориолисову силу инерции

$$F_{к} = -2m\omega V_r. \quad (11)$$

Силы инерции действуют на тело со стороны электронной среды при ее ускорении.

Следует отметить, что в гидродинамике уже давно, начиная с работ Эйлера, второй закон Ньютона записывается с учетом центробежных и кориолисовых сил. Покажем это. Приведем уравнение движения Эйлера для жидкости [5]:

$$\rho \left(\frac{\partial \mathbf{V}}{\partial t} + \text{rot} \mathbf{V} \times \mathbf{V} + \text{grad} \left(\frac{V^2}{2} \right) \right) = \rho \mathbf{G} - \text{grad} p, \quad (12)$$

где ρ и p – плотность и давление жидкости или газа; $\mathbf{V}$ – вектор скорости; $\mathbf{G}$ – вектор объемных сил, отнесенных к единице массы.

Рассмотрим, как и Ламб [6], равномерно вращающийся с постоянной угловой скоростью ω сосуд, с находящейся внутри жидкостью, рис. 2.

* Рисунок взят с сайта http://www.evgars.com/new_page_18.htm

Рис. 2. Вращающийся сосуд с жидкостью

Рассмотрим задачу в цилиндрических координатах r, ε, z , причем ось z направим вертикально вверх. Вдоль оси z действует сила тяжести $G_z = -g$; $G_\varepsilon = 0$; $G_r = 0$. Проекции скорости жидкости найдутся

$$V_r = 0; V_\varepsilon = \omega r; V_z = 0. \quad (13)$$

Проекции $\text{rot} \mathbf{V}$ будут равны

$$\left. \begin{aligned} \text{rot}_r \mathbf{V} &= \frac{1}{r} \frac{\partial V_z}{\partial \varepsilon} - \frac{\partial V_\varepsilon}{\partial z} = 0, \\ \text{rot}_\varepsilon \mathbf{V} &= \frac{\partial V_r}{\partial z} - \frac{\partial V_z}{\partial r} = 0, \\ \text{rot}_z \mathbf{V} &= \frac{1}{r} \cdot \left(\frac{\partial(rV_\varepsilon)}{\partial r} - \frac{\partial V_r}{\partial \varepsilon} \right) = 2\omega. \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

Тогда

$$\left. \begin{aligned} \text{rot} \mathbf{V} \times \mathbf{V} &= \begin{vmatrix} \mathbf{e}_r & \mathbf{e}_\varepsilon & \mathbf{e}_z \\ 0 & 0 & 2\omega \\ 0 & V_\varepsilon & 0 \end{vmatrix} = -\mathbf{e}_r 2\omega^2 r; \\ \text{grad}_r \left(\frac{V^2}{2} \right) &= \frac{1}{2} \frac{\partial(\omega^2 r^2)}{\partial r} = \omega^2 r. \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

Уравнение движения (12), с учетом (15), в проекциях на оси r, z , запишется

$$\left. \begin{aligned} -\rho \omega^2 r &= -\frac{\partial p}{\partial r}, \\ 0 &= -\rho g - \frac{\partial p}{\partial z}. \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

Уравнения (16) имеют общий интеграл

$$z = \frac{\omega^2 r^2}{2g} + \text{const}. \quad (17)$$

Таким образом, свободная поверхность жидкости представляет собой параболоид вращения, обращенный вогнутостью кверху (рис. 2), с параметром $\omega^2 / 2g$.

Подъем воды у стенок сосуда, как отмечает Ньютон [2]: «...указывает на стремление ее частиц удалиться от оси вращения, и по этому стремлению обнаруживается и измеряется истинное и абсолютное вращательное движение воды, которое, как видно, во всем совершенно противоположно относительному движению».

Выводы:

1. Предлагаемая форма записи второго закона Ньютона с учетом электронной среды, заполняющей все пространство, естественным образом объясняет появление центробежных и кориолисовых сил инерции в неинерциальных системах отсчета.

2. Силы инерции действуют на тело со стороны электронной среды при ее ускорении.

3. Показано, что в гидродинамике уже давно, начиная с работ Эйлера, второй закон Ньютона записывается с учетом центробежных и кориолисовых сил.

Список используемых источников:

1. Воронков С.С. *Общая динамика*. Псков: Квадрант, 2015. 349 с.
2. Ньютон И. *Математические начала натуральной философии*. М.: Наука, 1989. 688 с.
3. Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М. *Фейнмановские лекции по физике. Т. 1. Современная наука о природе. Законы механики*. М.: Мир, 1977. 263 с.
4. Ишлинский А.Ю. *Механика относительного движения и силы инерции*. М.: Наука, 1981. 191 с.
5. Лойцянский Л.Г. *Механика жидкости и газа*. М.: Наука, 1978. 736 с.
6. Ламб Г. *Гидродинамика*. М-Л.: ЮГИЗ, 1947. 928 с.

References:

1. Voronkov S.S. *General Dynamics*. Pskov: Quadrant, 2015. 349 p.
2. Newton I. *Mathematical Principles of Natural Philosophy*. M.: Nauka, 1989. 688 p.
3. Feynman R., Leighton R., Sands M. *The Feynman Lectures on Physics. Vol. 1. The modern science of nature. The laws of mechanics*. M.: Mir, 1977. 263 p.
4. Ishlinskii A.U. *The mechanics of relative motion and inertia*. M.: Nauka, 1981. 191 p.
5. Loitsiansky L.G. *Fluid Mechanics*. M.: Nauka, 1978. 736 p.
6. Lamb G. *Hydrodynamics*. M-L.: YUGIZ, 1947. 928 p.

© 2015, Воронков С.С.

Уточнение второго закона Ньютона

© 2015, Voronkov S.S.

Refinement of Newton's second law