ISSN 2411-6467

DOI: 10.31618/ESU.2413-9335.2020.1.72

ЕВРАЗИЙСКИЙ СОЮЗ УЧЕНЫХ (ЕСУ)

Ежемесячный научный журнал

№ 3 (72) / 2020

1 часть

Редакционная коллегия:

д.п.н., профессор Аркулин Т.В. (Москва, РФ)

Члены редакционной коллегии:

- Артафонов Вячеслав Борисович, кандидат юридических наук, доцент кафедры экологического и природоресурсного права (Москва, РФ);
- Игнатьева Ирина Евгеньевна, кандидат экономических, преподаватель кафедры менеджмента (Москва, РФ);
- Кажемаев Александр Викторович, кандидат психологических, доцент кафедры финансового права (Саратов, РФ);
- Кортун Аркадий Владимирович, доктор педагогических, профессор кафедры теории государства и права (Нижний Новгород, РФ);
- Ровенская Елена Рафаиловна, доктор юридических наук, профессор, заведующий кафедрой судебных экспертиз, директор Института судебных экспертиз (Москва, Россия);
- Селиктарова Ксения Николаевна (Москва, Россия);
- Сорновская Наталья Александровна, доктор социологических наук, профессор кафедры социологии и политологии;
- Свистун Алексей Александрович, кандидат филологических наук, доцент, советник при ректорате (Москва, Россия);
- Тюменев Дмитрий Александрович, кандидат юридических наук (Киев, Украина)
- Варкумова Елена Евгеньевна, кандидат филологических, доцент кафедры филологии (Астана, Казахстан);
- Каверин Владимир Владимирович, научный сотрудник архитектурного факультета, доцент (Минск, Белоруссия)
- Чукмаев Александр Иванович, доктор юридических наук, профессор кафедры уголовного права (Астана, Казахстан) (Астана, Казахстан)

Ответственный редактор

д.п.н., профессор Каркушин Дмитрий Петрович (Москва, Россия)

Международные индексы:

Ответственный редактор:
Главный редактор:

Завальский Яков Андреевич (Россия), доктор психологических наук, профессор

Международный редакционный совет:
Научный редактор: Игнатьев Сергей Петрович (Россия), доктор педагогических наук, профессор
Ответственный секретарь редакции: Давыдова Наталия Николаевна, кандидат психологических наук, доцент.

Арсеньев Дмитрий Петрович (Россия),
доктор психологических наук, профессор, заведующий лабораторией
Бычковский Роман Анатолиевич (Россия),
доктор психологических наук, профессор, МГППУ
Ильченко Федор Валериевич (Россия),
доктор психологических наук, профессор, заведующая лабораторией психологии
Кобзон Александр Владимирович (Россия),
доктор педагогических наук, профессор
Панов Игорь Евгеньевич (Россия),
доктор технических наук, профессор
Петренко Вадим Николаевич (Казахстан),
доктор психологических наук, профессор
Прохоров Александр Октябринович (Казахстан),
доктор педагогических наук, профессор
Савченко Татьяна Николаевна (Беларуссия),
кандидат психологических наук, доцент
Стеценко Марина Ивановна (США),
Ph.D., профессор
Строганова Татьяна Александровна (Украина),
доктор педагогических наук, профессор

Статьи, поступающие в редакцию, рецензируются. За достоверность сведений, изложенных в статьях, ответственность несут авторы. Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов материалов. При перепечатке ссылка на журнал обязательна. Материалы публикуются в авторской редакции.

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций.

Художник: Валегин Арсений Петрович
Верстка: Курпатова Ирина Александровна

Адрес редакции:
г. Москва, Лужнецкая набережная 2/4, офис №17, 119270 Россия
E-mail: info@euroasia-science.ru ; www.euroasia-science.ru

Учредитель и издатель ООО «Логика+»

Тираж 1000 экз.

Отпечатано в типографии г. Москва, Лужнецкая набережная 2/4, офис №17, 119270 Россия

СОДЕРЖАНИЕ

АРХИТЕКТУРА

Базилевич А.М.
УСТОЙЧИВОЕ ФОРМИРОВАНИЕ И ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ ГРАДОСТРОИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ. ПОСТАНОВКА ВОПРОСА 4

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Исабаев З., Закиров Б.С., Аскарова М.К., Исабаев Д.З.,Эшпулатова М.Б.
ИССЛЕДОВАНИЕ РАСТВОРИМОСТИ В ТРОЙНЫХ СИСТЕМАХ СУЛЬФАТЫ (МЕДИ, НИКЕЛЯ И МАРГАНЦА)-МОНОЭТАНОЛАМИН-ВОДА ПРИ 10°С..9

Bogdanov V.I.
EFFECT OF PROPULSIVE FORCE WITH NO REACTION MASS EJECTION IN ENGINEERING AND NATURE NOT CONTRADICTING WITH NEWTONIAN MECHANICS...17

Гамидов Н.Н.
ИССЛЕДОВАНИЕ ФАЗОВОГО СОСТОЯНИЯ ПРИРОДНЫХ СИСТЕМ ПРИ ВЫСОКИХ ДАВЛЕНИЯХ И ТЕМПЕРАТУРАХ 23

Макашева А.М., Ескара А.Т., Слушашов Т.Е.
СОГЛАСОВАНИЕ ФАКТОРОВ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ И ФЛОТАЦИИ МЕДНОСУЛЬФИДНЫХ РУД 32

Зейналов ДЖ.И., Маммадов Р.Т.
ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ К МАТРИЧНОМУ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОМУ УРАВНЕНИЮ РИККАТИ..35

Казаченко С., Нарембекова А.К.
ИССЛЕДОВАНИЯ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ИЗВЕСТНЯКА МЕСТОРОЖДЕНИЯ «САРЫКУМ» КАК ВСПЕНИВАТЕЛЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПЕНОСИЛИКАТНОГО МАТЕРИАЛА.....40

Смирнов В.М., Киселёв С.А.
ВРЕДОНОСНЫЕ ПРОГРАММЫ КАК ОПАСНОСТЬ ОВД. 43

Красновских М.П.
К ВОПРОСУ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕСУРСНОГО ПОТЕНЦИАЛА ОТРАБОТАННЫХ КРЕМНИЙСОДЕРЖАЩИХ ПОЛИМЕРОВ 45

Леонов Р.Е.
МОДЕЛЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТОКА ВОЗДУХА В ВЫРАБОТАННОМ ПРОСТРАНСТВЕ ШАХТЫ 48

Муравьева Л.В., Овчинников И.Г.
ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ МОРСКОГО ПОДВОДНОГО ТРУБОПРОВОДА НА ЕГО БЕЗОПАСНОСТЬ" 53

АРХИТЕКТУРА

УДК 711, ГРНТИ 67.25

УСТОЙЧИВОЕ ФОРМИРОВАНИЕ И ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ ГРАДОСТРОИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ. ПОСТАНОВКА ВОПРОСА

DOI: 10.31618/ESU.2413-9335.2020.1.72.621

Базилевич Анатолий Михайлович
канд. архитектуры, доцент кафедры Архитектура,
ФГБОУ ВО «Государственный университет по Землеустройству»(ГУЗ),
Минсельхоз России, г. Москва

АННОТАЦИЯ

В статье обсуждаются вопросы устойчивости развития территорий на основе объективно существующих относительно устойчивых исторических этапов-уровней формирования градостроительства – предметного, предметно-пространственного, информационного. Приведена матрица связей указанных этапов-уровней с логикой исследования (проектирования) – смысла, восприятия, принципов градостроительного объекта. Независимо от экономической устойчивости регионов, муниципальных районов, поселений необходимо законодательно обеспечить стопроцентное функционирование стандартных услуг для любых единиц систем расселения. Дан пример нового модульного подхода к формированию системы социального обеспечения взамен нормативно-затратного, действующего согласно СП 42.

ABSTRACT

The article discusses the issues of sustainable development of territories on the basis of objectively existing relatively stable historical stages-levels of formation of urban planning-subject, subject-spatial, informational. The matrix of connections of the specified stages-levels with the logic of research (design) – meaning, perception, and principles of the urban object is given. Regardless of the economic stability of regions, municipal districts, and settlements, it is necessary to ensure by law that standard services are fully functioning for any settlement system units. An example of a new modular approach to the formation of a social security system is given instead of the standard and costly one that operates under SP 42.

Ключевые слова: градостроительство, устойчивое развитие, единицы расселения, матрица анализа, стратегия и логика проектирования.

Keywords: urban planning, sustainable development, settlement units, analysis matrix, design strategy and logic.

Формирование информационного общества определяет тенденции и изменения во всех сферах жизнедеятельности, включая архитектуру, градостроительство. При этом широкое распространение мультимедийных информационных продуктов наглядно показало существующие отставания в самой теории и практике формирования предметно-пространственной среды, областью которой и является градостроительство. Косвенные показатели стагнации теории градостроительства - переход части градостроительных аспектов в иные сферы - в ландшафтную архитектуру, дизайн. Активизация в последние годы «ландшафтного дизайна», «дизайна городской среды» нарушила устои предметной области градостроительства.

Действующие градостроительные своды правил (СП), как и остальные строительные СП, именно в силу актуализации прежних Строительных норм и правил (СНиП), т.е. частичного изменения редакции (вопросов технической и пожарной безопасности, энергосбережения, потребностей маломобильных граждан) не ориентированы на коренное изменение содержания объекта и предмета нормирования [3,6]. Отсутствие новизны в градостроительстве проявляется:

• *в научном аспекте*. В дерективных документах отсутствует раздел «терминология» градостроительства. Соответственно не ясно, что является единицей расселения, объектом нормирования. Например, вряд ли объектом нормирования является «суммарная площадь озелененных территорий общего пользования» [6, п.9.2], поскольку этот показатель лишь косвенно связан с экологией территории, но не с рекреацией, отдыхом населения. При этом сам экологический аспект в градостроительстве, географии, ландшафтоведении до конца также не ясен, поскольку ряд важнейших понятий (типа «экологический каркас», «экологическая сеть», «ландшафт» и пр.) необходимо привести в соответствие с реалиями функционирования природы [7,с 41]. Ещё большего соответствия требует понятия «устойчивое развитие» с реалиями социальны изменений. В противном случае, например, в Градостроительных нормативах Московской области классификация «устойчивых систем расселения» носит формальный характер в виде трех категорий – городская, рекреационно-городская, рекреационно-аграрная [4], поскольку критерий «устойчивости» в этих нормативах не ясен.

В градостроительном Кодексе РФ 2004 года под «устойчивым развитием территории» понимается «обеспечение при градостроительной деятельности безопасности и благоприятных условий жизнедеятельности человека, ограничение негативного воздействия хозяйственной и иной деятельности на окружающую среду и обеспечение охраны и рационального использования природных ресурсов в интересах настоящих и будущих поколений» [3. гл1, часть1]. Иначе говоря, речь идёт о двояком смысле устойчивости: внешнем (по отношению к человеку), т.е. устойчивость как охрана природы; внутреннем - устойчивость при соблюдении безопасности, благоприятности условий жизни человека.

Во всех случаях не ставится задача устойчивого поступательно-развиваемого, но обязательно справедливого социально-функционального содержания городской среды, что, по нашему убеждению, интересует население;

- *в методологическом аспекте*. Главная проблема заключается в отсутствии общепринятого объекта проектирования, планирования. Если в Градостроительном Кодексе за единицу проектирования принято муниципальное образование, то в СП 42 – по-прежнему (городские, сельские) поселения. Попытки принять за главный объект систему расселения (от городской до агломерации) не получили развития. Одна из причин – отсутствие социально-экономического видения при планировании страны в целом, субъектов федерации. Другая причина – назревшая необходимость расширенного толкования землеустройства - замена оценки земли, нацеленной исключительно на интересы сельского хозяйства (плодородие, емкость кормовых угодий и т.п.) (ст.12. ФЗ «О землеустройстве), на оценку широкого спектра экологических и социальных ценностей [7, с 415]. В этом случае в землеустройстве Евклидовая (вещная) суть понятия «земля» заменится на социально-пространственное, относительное всех форм бытия;
- *в практическом аспекте*. Реализация существующих теоретических и методологических подходов встречает непонимание ни у руководящих органов местного, регионального управления, ни у обычных граждан. Общественные обсуждения градостроительных проектов носят формальный характер поскольку жителей интересуют не нормативы, а их справедливое, приоритетное поэтапное достижение для того или иного района, места их проживания. Объективно заинтересованы и власти, и население в доказательности принимаемого бюджета, его статей.

В целом, перечисленные и другие моменты градостроительных подходов не позволяют запроектировать как социально-пространственный организм, отвечающий современным требованиям общества.

Принимая за основу методологию исследования и стиль мышления Розенсон И.А. в области дизайна [5], постараемся ответить на стратегию и логику градостроительного исследования и проектирования.

Стратегия исследования, опирающаяся на исторические парадигмы (представления) по поводу мироустройства и роли в нем градостроительства, включает:

Проектирование отдельных предметов и их комплексов, опирающееся на ньютонианское (или бэконианское) понимание пространства как «ящика, наполненного различными телами. Такая проектная парадигма называется *«градостроительство как предметное творчество».*

Проектирование, опирающееся на картезианское представление о пространстве как среды, особым состоянием которой выступают отдельные тела и отдельные связи. Такая проектная парадигма называется *«градостроительство предметно-пространственной среды»*

Проектирование информационных объектов, маркирующих виртуальное пространство, сохраняющее основные характеристики традиционного градостроительства, но разворачивающее реальности другого уровня. Такая проектная парадигма называется *«градостроительство в информационной среде».*

Логика исследования и градостроительного проектирования, как научно-творческой деятельности внутри как материальной, так и духовной культуры не может обойти вопросы:

<u>Первый вопрос</u> относится к выявлению содержания социально-экономического, культурного, эстетического смысла, выраженного средствами планировки, застройки, благоустройства через те или иные объекты – микрорайон, парк, детская площадка и пр. Спрашивается, что градостроитель намерен выразить с каждым изменением социально-экономической, культурной и проектной парадигмы?

<u>Второй вопрос</u> лежит в плоскости восприятия градопродукта: как градостроительство переживается его адресатом, когда становится феноменом его сознания? Ответ на этот вопрос описывает особенности восприятия градопродукта в каждом из социально-экономических типов и типов миропонимания.

<u>Третий вопрос</u> в значительной степени проясняется ответами на два предыдущих. Прослеживается смена методологий градостроительства. Способами «овладения действительностью» с помощью градостроительства как одного из видов творчества выявляются принципиальные различия в этой деятельности для каждой из проектных парадигм.

Таблица 1.

Структура исследовательской градостроительной деятельности

Уровни градостроительства	направления исследования		
	Смыслы, выраженные в объектах градостроительства	Восприятие продукта градостроитроительства	Принципы градостроительного проектирования
I. Градостроительство как предметное творчество	Предмет в культуре, в строительстве, цивилизации	Предметное мышление	Функционально-художественное моделирование предметного мира
II. Градостроительство как компонент предметно-пространственной социальной среды	Единица анализа – поведенческая ситуация социума	Средовой характер восприятия	Включение проектирования в социально-пространственные связи
III. Информационный компонент предметно-пространственной среды градостроительства	Преодоление графических свойств объектов градостроительства	Система требований виртуального события	Соответствие свойств объектов градостроительства требованиям виртуальной реальности

Все три названных уровня рассмотрения присутствуют в теории и практике градостроительства и находят там свою конкретную интерпретацию (табл.1)

Приходится констатировать, что в истории и теории градостроительства до сих пор, к сожалению, преобладает предметный уровень, на фоне которого появляются иллюзии формирования оптимального города, НЭР (новый элемент расселения – Гутнов А.Э.), производственно-селитебный район, групповая система населенных мест и прочие самодостаточные статичные единицы расселения. А если и были концепции динамически развивающегося города (например, архитектора Локтева В.И.), то речь шла о пространственном развитии, без учета взаимосвязи и взаимообусловленности функционально-отраслевых и пространственно-временных факторов развития. Примечательно то, что в любой единице расселения должна присутствовать схема «труд-быт-отдых», предложенная архитектором Г.Градовым в середине прошлого века. Напомним, что в НЭР имелось только два компонента «быт-отдых». По мнению В. Глазычева «Порочность такой удобной схемы как «труд-быт-отдых» в её бедности, в том, что бесконечно сложное сводится к простому, элементарному» [2]. В таком случае формулу архитектуры «польза-прочность-красота» (Витрувий) также можно считать «бедной».

По нашему мнению, проблема заключается в другом – в отсутствии социологически-градостроительных исследований, способных правильно описать современную социальную технологию поведения, связей и тем самым дать основу для проектных решений. Так, в действующем СП 42 «Градостроительство» закреплена статичная ступенчатая система для организации социального обслуживания, которая упрощённо трактует частоту потребительского спроса и предлагает реализовать эту частоту в виде соответствующих радиусов доступности (повседневной-периодической-эпизодической) исключительно от места проживания (типа «матрёшки»), что действительно противоречит технологии передвижений, как минимум трудозанятого населения, а соответственно и роли социального обслуживания в общем процессе «устойчивого развития» территорий [1]. В этом случае имеет место быть явное нарушение принципа второго уровня «градостроительства как компонента предметно-пространственной среды», который гласит, что «единица анализа – поведенческая ситуация социума (см. табл.1).

Устойчивость функционирования системы социального обеспечения (включая рекреационные подсистемы, подсистемы общественного обслуживания) на региональном уровне, в первую очередь, зависит от надёжности прогнозов развития производительных сил и систем расселения в границах субъектов РФ (область, край, республика,). Существовавшие ранее в СССР «Концепции развития и размещения производительных сил (страны, республик)», в известной степени способствовали устойчивому (обоснованному) появлению новых систем расселения, новых городов. А если и были отступления от «Концепции», то это было связано или с просчётами или иными факторами корректуры стратегии развития экономики хозяйства. Во всех случаях, существовало мерило градостроительной устойчивости в цепочке «тип производства - количество рабочих мест -

расчётная численность населения - необходимая территория».

При переходе от плановой экономики к рыночной усложнился учёт градообразующих факторов. Однако, в основе устойчивости развития систем расселения по-прежнему лежит закон соответствия мест приложения труда, с одной стороны, и мест проживания, количества и видов объектов обеспечения, форм их транспортной связи - с другой.

Для трёх указанных выше (на примере Московской области) категорий расселения (городская, рекреационно-городская, рекреационно-аграрная) в сфере социального обеспечения объективно существуют два уровня отношений:

стандартно-минимизируемые отношения: обеспечивают удовлетворение стереотипных и стабильных потребностей; минимизируют затраты времени на передвижения населения к соответствующим объектам социального обеспечения (местам приложения труда, отдыха, учреждениям и организациям обслуживания);

избирательно-оптимизируемые отношения: обеспечивают удовлетворение индивидуальных, специфических по содержанию потребностей, допускающих частичную замену аналоговыми объектами социального обеспечения с оптимизацией затрат времени на передвижения к ним;

Это позволило сформулировать принципы устойчивости функционирования системы общественного обслуживания [1]:

соответствие функциональных параметров сети учреждений структуре трудовой, потребительской , рекреационной активности;

достижение единообразия в части минимальных стандартов обслуживания для любой категории расселения - городской, рекреационно-городской, рекреационно-аграрной»;

включение затрат времени на передвижения к стандартным объектам в задачи организации общественным транспорта;

соблюдение рентабельности учреждений, организация за счет подбора их вместимости соответственно (включая виртуальным) потокам потребителей.

В рамках сбалансированных по местам приложения труда и числа трудозанятого населения систем расселения (города, агломерации, муниципальные образования) критерием устойчивости функционирования является принцип компенсации - материально-обеспечивающих объектов пространственно-связевыми (транспортно-коммуникационными) условиями.

Например, если в пределах Тольятти-Жигулёвской системы расселения локализуется почти 100% трудовых связей, то в трех производственно-селитебных комплексах-модулях трудового тяготения (Мтт) существует разная степень сбалансированности (дисбаланса): М1 (Автозаводский) - 60%; М2 (Комсомольско-Шлюзовой) – 80%; М3 (Жигулёвский) – 40% [1]. Кроме того для этих трех модулей существуют различия в: численности населения (соответственно 300, 200, 75 тыс жителей); «связности основных зон – проживания, труда, центра города – цепочка «жрцж» (соответственно 48,108,195 мин.); в трудности (комфортности) трудовых связей (соответственно – 1.8, 3.5, 4.2 балла). С учетом перечисленных объективных факторов формирования системы социального обеспечения предложена компенсирующая указанный дисбаланс структура избирательного уровня по модулям в виде 28.5, 48.5, 23.0% против 52.0, 35.0, 13.0% согласно нормативному подходу (пропорционально численности жителей), в СП 42.

Таким образом, построение устойчивой (к запросам населения) системы социального обеспечения опирается на структуру трудовых связей, где нетрудовые связи детерминируются трудовыми. Поэтому регулирование градостроительных систем, использование их территорий обязано в первую очередь считаться с объективным законом сбалансированности количества и качества мест приложения труда с местами постоянного проживания в пределах сложившихся или проектируемых зон расселения-модулей.

Выводы.

1.Термин «устойчивость развития территорий» требует осмысления, конкретизации. Развитие может иметь материальный, материально-пространственный или виртуальный аспект. На современном этапе градостроительства следует признать устаревшим метод нормирования объектов, территорий, мест обеспечения исключительно пропорционально численности населения. Такой подход не учитывает функционирование и развитие систем расселения и является затратным.

2.В условиях пространственно-временной энтропии компонентов системы социального обеспечения, речь должна идти прежде всего о критериях справедливости их координации между собой, а также с местами проживания населения. В первую очередь - на уровне удовлетворения стандартных, гарантированных государством потребностей.

3.Новый этап градостроительства с использованием виртуальных и дистанционных форм обеспечения, управления не исключает необходимости устойчивых прямых контактов всех категорий населения – между собой, с природной средой, с местами приложения труда. Этот этап градостроительства требует дополнительного исследования во взаимосвязи с до конца нерешенными вопросами действующей предметно-пространственной стратегии.

Список литературы

1.Базилевич А.М. Трудовое тяготение населения – основа формирования и функционирования системы расселения// «Устойчивое развитие территорий» материалы 2-

ой междун. науч.-практ. конф. НИУ МГСУ 20-21 мая 2019. М.2019

2.Глазычев В., Гутнов А. Формула градостроительства// Мир Архитектуры. Лицо города. «Молодая гвардия.» 1990. Электроннный ресурс (дата обращения апрель 2020г), https://polit.ru/article/2004/06/11/town/

3.Градостроительный Кодекс РФ (с изменениями 31 декабря 2014)

4. Нормативы градостроительного проектирования Московской области. Утв. Постановлением Правительства Московской области от 17.08.2015 № 713/30

5.Розенсон И.А. Основы теории дизайна. Учебник для вузов.. С.-П. 2007

6.СП 42 13330 Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. Актуализированная редакция СНиП 2.07-89^{x} М. 2011.

7.Теория и методология ландшафтного планирования. Хорошев А.В., Авессаламова И.А., Дьяконов К.Н. и др. Отв.ред. К.Н.Дьяконов, А.В. Хорошев. М.: Товарищество научных изданий КМК.2019,444с. 72цв.вкл.

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 541.123

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСТВОРИМОСТИ В ТРОЙНЫХ СИСТЕМАХ СУЛЬФАТЫ (МЕДИ, НИКЕЛЯ И МАРГАНЦА)-МОНОЭТАНОЛАМИН-ВОДА ПРИ 10°С

Исабаев З., Закиров Б.С., Аскарова М.К., Исабаев Д.З.,Эшпулатова М.Б.
Институт общей и неорганической химии АН РУз, Узбекистан, г.Ташкент

Одним из перспективных путей повышения коэффициента полезного действия минеральных и органоминеральных удобрений является обогащение их физиологически активными веществами, обладающими высокой биологической и химической активностью по сравнению с другими известными ФАВ [1-3].

В настоящее время для сельского хозяйства весьма актуальна проблема получения новых химических соединений и материалов, обладающих ценными полезными свойствами для роста и развития растений.

Целью настоящих исследований является изучение взаимодействия этаноламина и микроэлементов с получением новых видов высокоэффективных, экологически безвредных стимуляторов роста и развития растений для сельского хозяйства.

Этаноламины благоприятно влияют на рост и развитие растений, улучшают усвоение основных элементов питания, увеличивают урожайность и ускоряют созревание различных сельхозкультур [4-6].

Исследование взаимодействия моноэтаноламина с микроэлементами представляет значительный теоретический и практический интерес.

Нами изотермическим методом изучена растворимость компонентов в системе сульфат меди-моноэтаноламин-вода при 10^0С. Равновесие в системе устанавливалось в течение 5-6 часов. Изотерма растворимости системы состоит из двух ветвей кристаллизации исходных компонентов. Первая ветвь соответствует кристаллизации в твердой фазе сульфата меди пяти водной, а вторая -двойному соединению состава $NH_2C_2H_4OH \cdot CuSO_4 \cdot 5H_2O$. Как видно из диаграммы растворимости, при добавлении моноэтаноламина (МЭА) к насыщенному раствору сульфата меди растворимость последнего повышается от 17,90 до 43,36% (рис.1).

Пределы существования нового соединения занимают на диаграмме большую область и находятся между 6,88-43,18% сульфата меди и 6,40-15,97% моноэтаноламина (табл.1).

Образовавшееся соединение растворяется в воде конгруэнтно. Полученное новое соединение идентифицировано методами химического, графического, рентгенофазового и термографического анализов.

Азот определяли по методу Кельдаля [7], моноэтаноламин определяли титрованием раствором серной кислоты в присутствии индикатора метилового оранжевого [8]. Содержание SO^{2-} определяли методом осаждения с последующим пересчетом на сульфаты металлов [9].

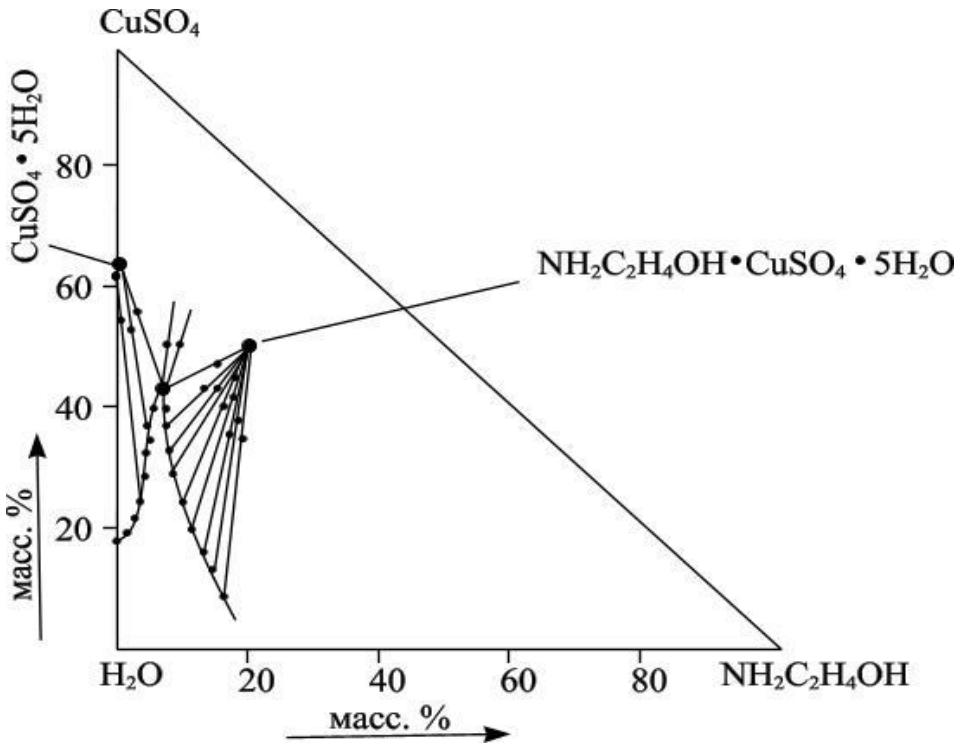

Рис.1. Изотерма растворимости системы сульфат меди – моноэтаноламин – вода при 10 °С

Таблица 1.

Данные по растворимости системы сульфат меди-моноэтаноламин-вода при 10°С

Состав жидкой фазы, масс, %			Состав твердой фазы, масс, %			Кристаллизующаяся фаза
$NH_2C_2H_4OH$	$CuSO_4$	H_2O	$NH_2C_2H_4OH$	$CuSO_4$	H_2O	
-	17,90	82,1	-	63,79	36,21	$CuSO_4 \cdot 5H_2O$
1,32	18,96	79,72	0,44	58,55	41,01	То же
2,06	20,10	77,84	0,65	57,77	41,58	-//-
3,22	23,42	73,36	1,01	56,60	42,39	-//-
4,38	27,09	68,53	1,20	55,80	43,00	-//-
4,71	31,91	63,38	1,34	54,42	44,24	-//-
4,90	34,19	60,91	1,50	54,20	44,30	-//-
5,05	37,16	57,79	1,92	53,10	44,98	-//-
5,20	40,18	54,62	1,90	53,68	44,42	-//-
6,12	43,24	50,64	2,01	57,90	40,09	-//-
6,28	43,36	50,36	8,32	51,52	40,16	$CuSO_4 \cdot 5H_2O + NH_2C_2H_4OH \cdot CuSO_4 \cdot 5H_2O$
6,36	43,30	503,4	9,15	51,10	39,75	То же
6,40	43,18	50,42	15,11	48,36	36,73	$NH_2C_2H_4OH \cdot CuSO_4 \cdot 5H_2O$
6,90	37,33	55,77	12,87	43,79	43,34	То же
7,44	32,89	59,76	15,30	44,45	40,25	-//-
7,98	28,27	63,75	17,66	46,06	36,28	-//-
9,10	23,16	67,74	16,48	39,37	44,15	-//-
10,71	19,04	70,25	17,57	41,86	59,43	-//-
12,16	14,89	72,95	17,50	35,15	47,35	-//-
14,39	10,77	74,84	18,19	38,20	43,61	-//-
15,97	6,88	77,15	18,90	35,06	46,04	-//-

Ренгенофазовый анализ исходных солей и новых соединений проведен на дифрактометре Дрон-2 при отфильтрованном методном излучении CuKα при напряжении 25 кВ, силе тока 8 мА, со скоростью движения счетчика 2 град/мин [10].

Термогравиметрический анализ проводили на дериватографе МАМ-Будапешт при скорости нагрева веществ 10-12 град/мин при максимальной температуре 900°С. Использовались термопары платинородиевые, изолированные от веществ. Анализ проводили в платиновых тиглях с крышкой. Чувствительность гальванометров составляла ДТА-1/10, ДТГ-1/15, навеска 0,12 г-прокаленная окись алюминия [11].

Химический анализ соединения $NH_2C_2H_4OH \cdot CuSO_4 \cdot 5\ H_2O$:

Вычислено, %: $NH_2C_2H_4OH$ - 19,63; $CuSO_4$ - 50,13; H_2O – 30,19

Найдено, %: $NH_2C_2H_4OH$ - 19,86; $CuSO_4$ - 49,60; H_2O – 30,44

Рентгенофазовый анализ показывает, что новое соединение является кристаллическим веществом с индивидуальным набором межплоскостных расстояний и интенсивностей линий.

Основные межплоскостные расстояния сульфата меди имеют значения 4,68; 4,61; 3,95; 2,32; 1,907Å с интенсивностью линий 90, 100, 40, 30,5, 32 соответственно. Для нового соединения характерными являются следующие дифракционные максимумы: 4,43; 2,72; 1,84; 1,71 Å с интенсивностью 100; 57; 27,4; 26 соответственно. Наиболее интенсивные рефлексы на ренгенограмме нового соединения наблюдаются в области 6-25^0 (рис.2).

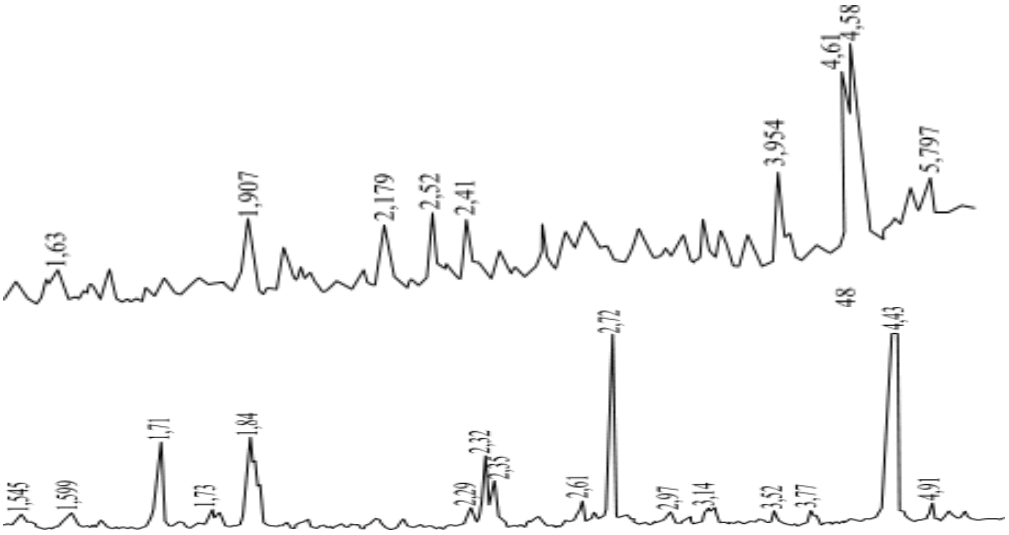

Рис 2. Рентгенограммы соединений: $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ (а); $NH_2C_2H_4OH \cdot CuSO_4 \cdot 5H_2O$ (б)

На дериватограмме МЭА наблюдается один эндотермический эффект при 180^{0}С, связанный с кипением и одновременным разложением МЭА. На дериватограмме нового соединения $NH_2C_2H_4OH \cdot CuSO_4 \cdot 5H_2O$ наблюдаются ряд эндотермических эффектов при 128, 150, 210, 295, 364, 780^{0}С и один экзотермический эффект при температуре 335^{0}С. Плавление соединения начинается при 85 и 90^{0}С и заканчивается при 128^{0}С. Одновременно идет дегидратация исходной соли сульфата меди пяти- водного. К 128^{0}С удаляется одна молекула кристаллизационной воды (рис.3).

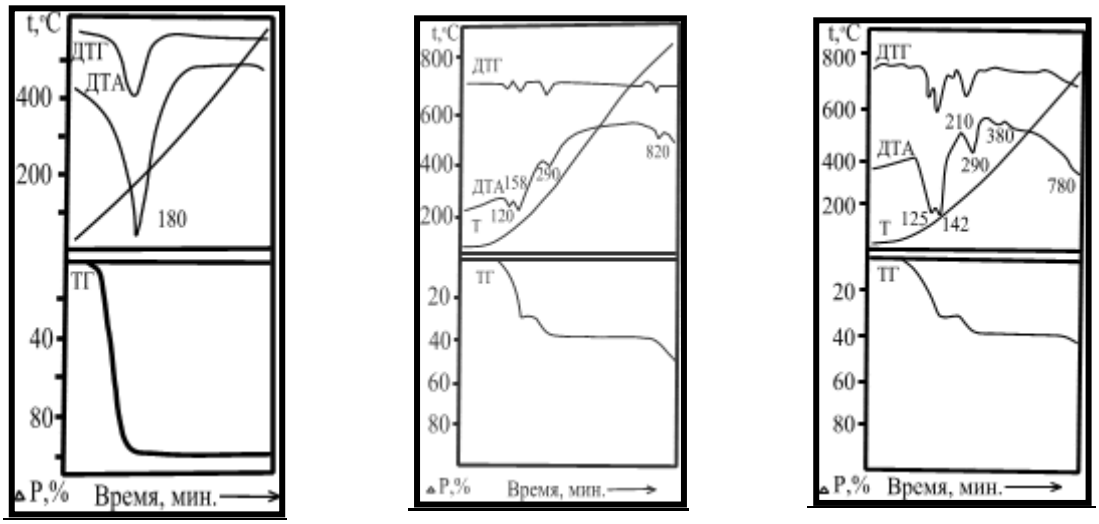

Рисунок 3. Дериватограммы: а) $NH_2C_2H_4OH$; б) $CuSO_4 \cdot 5H_2O$; в) $NH_2C_2H_4OH \cdot CuSO_4 \cdot 5H_2O$

Потеря веса составляет 7,2%. Начиная с 210 до 295^{0}С идет разложение МЭА. Одновременно продолжается удаление кристаллизационной воды. Потеря веса при 364^{0}С составляет 48,8%. Дальнейшее повышение температуры связано с разложением сульфата меди.

Таким образом, при изучении системы сульфат меди-моноэтаноламин-вода при 10^{0}С установлено,

что образуется новое соединение состава $NH_2C_2H_4OH \cdot CuSO_4 \cdot 5H_2O$, водный раствор которого можно применять в сельском хозяйстве в качестве высокоэффективного, экологически безвредного стимулятора роста и развития растений.

Изотерма растворимости системы сульфат никеля-моноэтаноламин-вода при 10^0С характеризуется наличием двух ветвей кристаллизации, соответствующих выделению в твердую фазу сульфата никеля и образованию соединения состава $NH_2C_2H_4OH \cdot NiSO_4 \cdot 7H_2O$ (рис.4).

Концентрационные пределы существования нового соединения занимают на диаграмме большую область и находятся между 12,30-39,40% сульфата никеля и 11,30-23,65% моноэтаноламина. Выделение соединения $NH_2C_2H_4OH \cdot NiSO_4 \cdot 7H_2O$ убедительно подтверждается пересечением прямолинейных лучей в одной точке внутри треугольника, что свидетельствует об образовании в системе гидратированного соединения (табл.2).

Конгруэнтно растворимое соединение $NH_2C_2H_4OH \cdot NiSO_4 \cdot 7H_2O$ выделено в кристаллическом виде и идентифицировано методами химического, графического, рентгенофазового и дериватографического анализа:

Химический анализ $NH_2C_2H_4OH \cdot NiSO_4 \cdot 7H_2O$:

Вычислено %: $NiSO_4$ - 45,30; $NH_2C_2H_4OH$ - 17,84; H_2O – 36,85

Найдено %: $NiSO_4$ - 45,70; $NH_2C_2H_4OH$ - 17,35; H_2O – 36,20

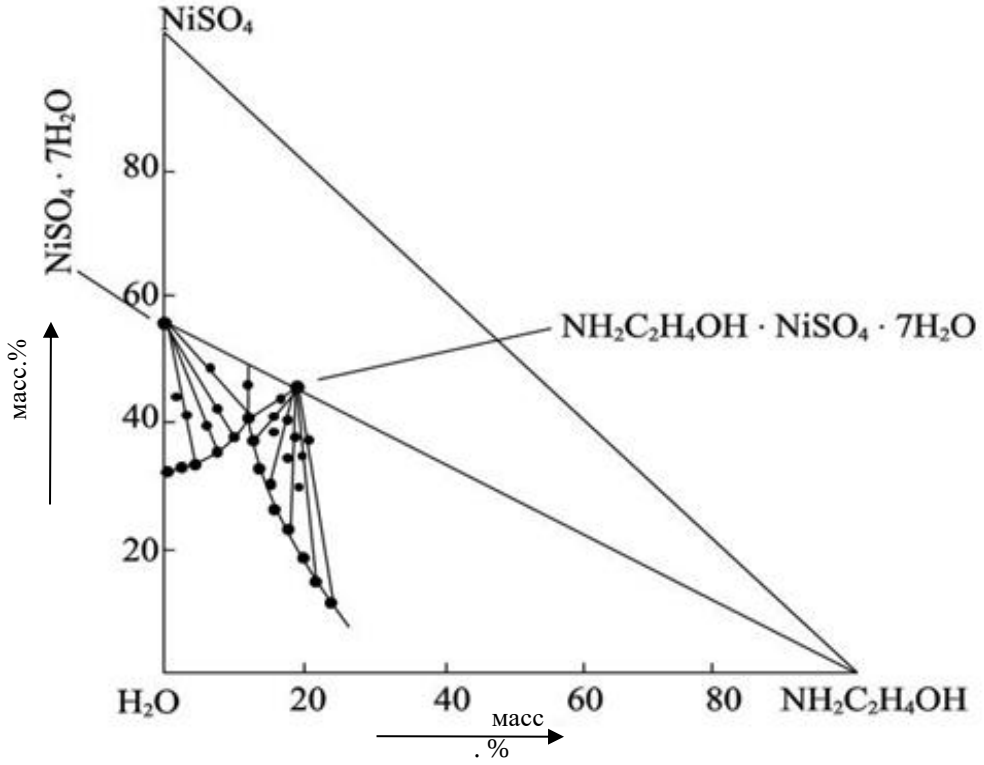

Рис.4. Изотерма растворимости системы сульфат никеля-моноэтаноламин-вода при 10^0С.

Таблица 2.

Данные по растворимости системы сульфат никеля – моноэтаноламин – вода при 10°С

№ пп	Состав жидкой фазы, масс,%		Состав твердой фазы, масс,%		Кристаллизующаяся фаза
	$NH_2C_2H_4OH$	$NiSO_4$	$NH_2C_2H_4OH$	$NiSO_4$	
1	-	31,25	-	55,10	$NiSO_4 \cdot 7H_2O$
2	1,84	31,65	0,92	43,16	То же
3	3,38	32,81	2,08	40,25	-//-
4	6,19	33,80	5,10	38,92	-//-
5	9,02	36,44	7,04	41,18	-//-
6	11,08	38,96	5,30	48,12	-//-
7	11,24	39,19	11,16	45,05	$NiSO_4 \cdot 7H_2O$+$NH_2C_2H_4OH \cdot NiSO_4 \cdot 7H_2O$
8	11,30	39,40	15,20	43,76	$NH_2C_2H_4OH \cdot NiSO_4 \cdot 7H_2O$
9	11,84	35,82	14,53	40,09	То же
10	13,09	32,35	15,14	37,76	-//-

11	15,38	31,19	17,17	40,20	-///-
12	15,16	26,22	17,19	34,12	-//-
13	17,55	22,46	17,60	37,56	-//-
14	18,70	18,14	18,58	30,18	-//-
15	21,15	15,03	19,71	34,90	-//-
16	23,65	12,30	20,10	36,82	-//-

Рентгенофазовый анализ показывает, что новое соединение является кристаллическим и имеет собственную кристаллическую решетку. Основные межплоскостных расстояния сульфата никеля имеют значения: 4,31; 4,03; 2,49; 1,495Å с интенсивностью 100; 11,8; 7,0; 14,7 (рис.5).

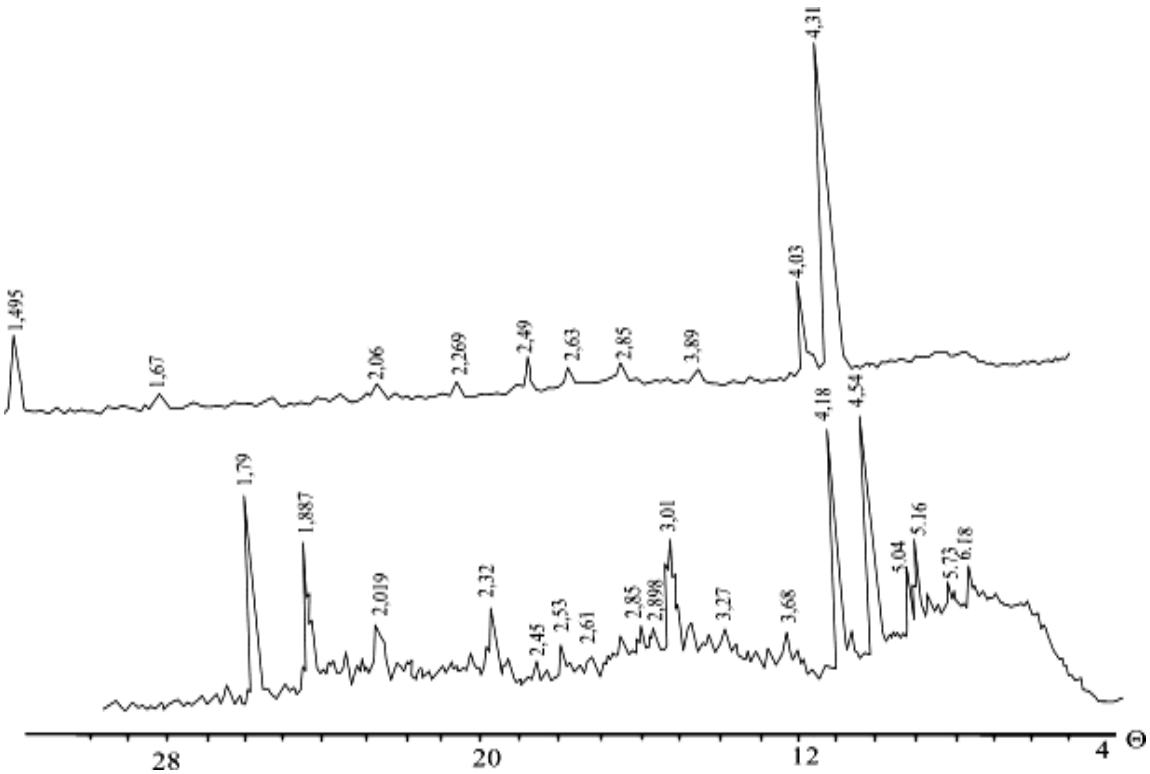

Рис.5.Рентгенограммы исходного и нового соединения $NiSO_4 \cdot 7H_2O$, $NH_2C_2H_4OH \cdot NiSO_4 \cdot 7H_2O$

Для этаноламин сульфата никеля в соотношении 1:1 характерными являются следующие дифракционные максимумы; 4,57; 4,18; 1,887; 1,790Å с интенсивностью 100; 95,5; 52; 73,6 соответственно. Наиболее интенсивные рефлексы на рентгенограмме нового соединения наблюдаются в области углов 8-26°.

На дериватограмме $NiSO_4 \cdot 7H_2O$ (рис.6) наблюдаются ряд эндотермических эффектов при 155, 197, 409°С и экзотермические эффекты с выделением тепла 364 и 650°С.

Дегидратация нового соединения начинается при температуре 120°С, когда температура доходит до 155°С удаляются две молекулы кристаллизационной воды, потеря массы при этом составляет 14,20%. При 197°С удаляются четыре молекулы кристаллизионной воды, а при 409°С полностью дегидратируется, потеря массы при этой температуре составляет 43,20%. Разложение $NiSO_4$ протекает при температуре выше 800°С с образованием $NiSO_3$(рис.6).

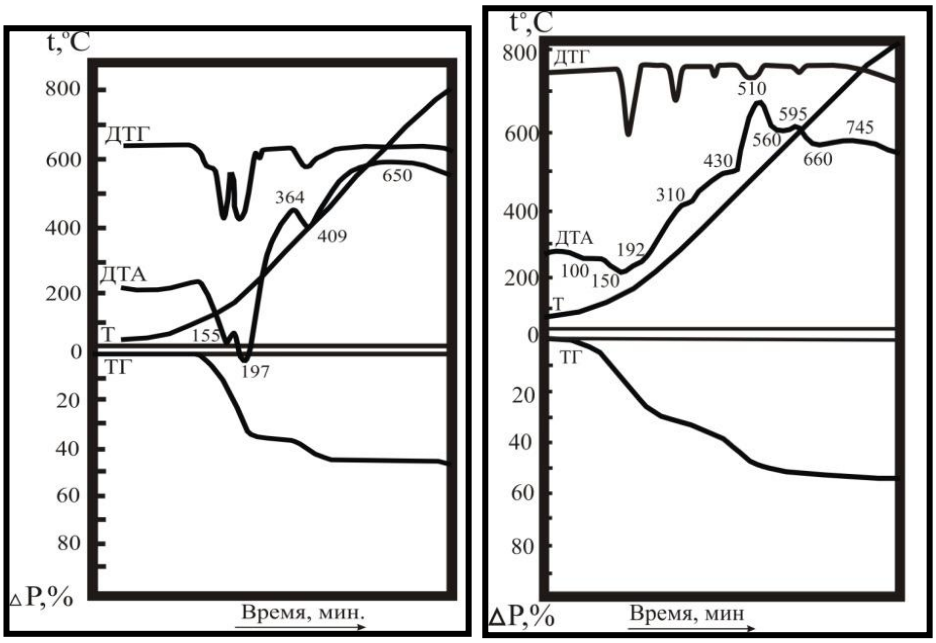

Рис.6. Дериватограммы: а- $NiSO_4 \cdot 7H_2O$; б-$NH_2C_2H_4OH \cdot NiSO_4 \cdot 7H_2O$

На дериватограмме нового соединения $NH_2C_2H_4OH \cdot NiSO_4 \cdot 7H_2O$ (рис.6) наблюдается ряд эндотермических эффектов при 100, 150, 192, 310, 430, 590 и 660°С и экзоэффекты при 510, 595 и 745°С. Дегидратация нового соединения начинается при температуре 100°С, а при 150°С удаляются две молекулы кристаллизационной воды и в свою очередь наблюдается выделение аммиака, значит начинается разложение моноэтаноламина. При температуре 192°С удаляются три молекулы воды, потеря массы по кривой ТГ составляет 20,76%, вычислено 20,77%.

В интервале температур 310-430°С потеря массы составляет 8,74%, при 430° С соединение полностью дегидратируется, т.е удаляется семь молекул кристаллизационной воды. Разложение моноэтаноламина в присутствии сульфата никеля семиводного проходит более длительно по сравнению с разложением индивидуального моноэтаноламина. При температуре 745°С потеря массы по кривой ТГ составляет 48,09%. Дальнейшее повышение температуры связано (выше 800°С) с разложением сульфата никеля, общая потеря веса при 800°С составляет 54,64%.

Исследование растворимости и взаимодействия в системе сульфат марганца - моноэтаноламин - вода при температуре 10°С показало, что истинное равновесие в системе устанавливалось в течение 7 часов. В качестве исходного вещества использовали перекристаллизованную соль - сульфат марганца марки «хч» и моноэтаноламин «ч» перегнанный.

Изотерма растворимости системы сульфат марганца-моноэтаноламин -вода состоит из двух ветвей кристаллизации исходных компонентов. Первая ветвь соответствует кристаллизации в твердую фазу сульфата марганца пятиводного, а вторая отвечает новому соединению состава: $NH_2C_2H_4OH \cdot MnSO_4 \cdot 3H_2O$. Образовавшееся соединение растворяется в воде конгруэнтно (рис. 7, табл.3).

Концентрационные пределы существования нового соединения занимают на диаграмме большую область и находятся между 12,69-28,50% моноэтаноламина и 8,72-59,86 сульфата марганца соответственно. Это дает возможность синтезировать соединение в широких пределах концентраций исходных компонентов.

Новое соединение выделено в кристаллическом виде и идентифицировано методами химического, рентгенофазового и термического анализов.

Химический анализ $NH_2C_2H_4OH \cdot MnSO_4 \cdot 3H_2O$:

Вычислено %: $NH_2C_2H_4OH$ - 22,93; $MnSO_4$ - 56,77; H_2O – 20,30

Найдено %: $NH_2C_2H_4OH$ - 22,56; $MnSO_4$ - 56,98; H_2O – 20,35

Рентгенофазовый анализ показывает, что новое соединение является кристаллическим веществом с индивидуальным набором межплоскостных расстояний и интенсивностей линий (табл.4).

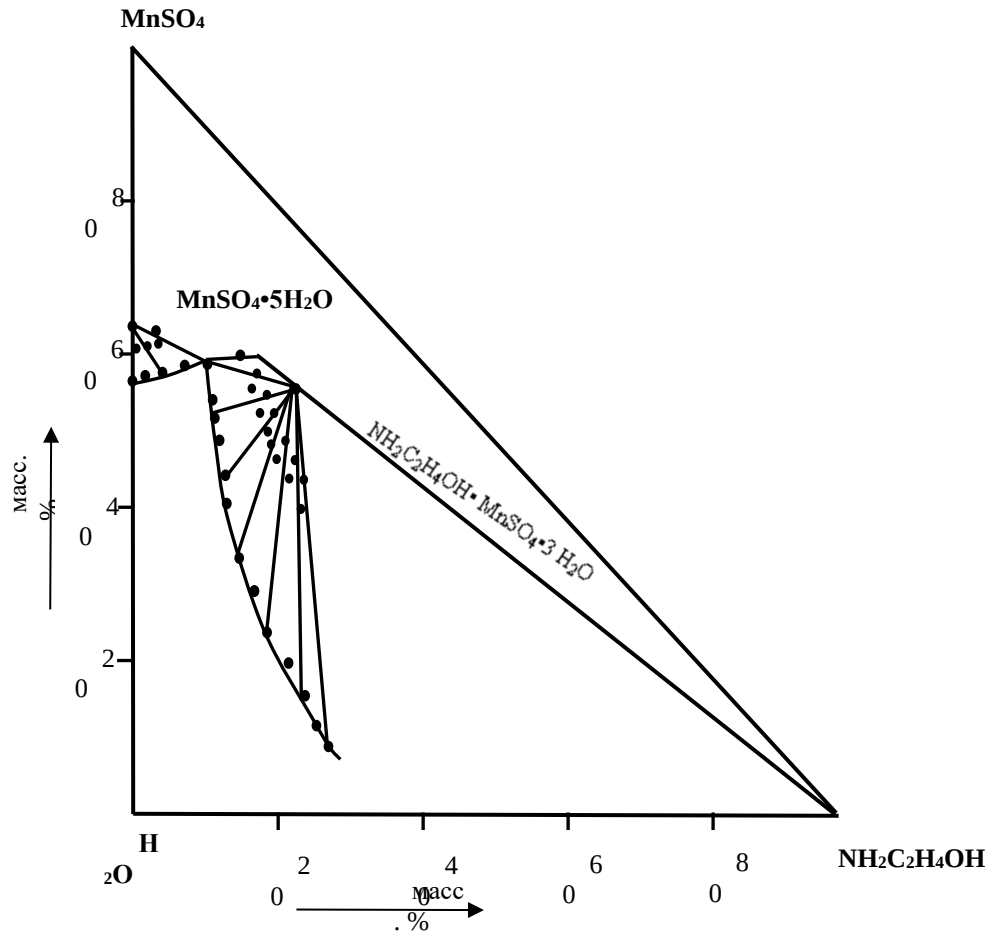

Рис. 7. Изотерма растворимости системы сульфат марганца – моноэтаноламин – вода при 10°С

Таблица 3.

Данные по растворимости системы сульфат марганца-моноэтаноламин-вода при 10°С

№ п/п	Состав жидкой фазы, масс.%		Состав твердого «остатка», масс.%		Кристаллизующаяся фаза
	$NH_2C_2H_4OH$	$MnSO_4$	$NH_2C_2H_4OH$	$MnSO_4$	
1	-	57,64	-	62,80	$MnSO_4 \cdot 5H_2O$
2	2,87	58,10	1,14	59,54	То же
3	5,53	58,36	2,62	61,12	--//--
4	8,40	58,62	4,25	61,46	--//--
5	12,54	59,58	3,16	62,78	--//--
6	12,63	59,70	16,92	60,14	$MnSO_4 \cdot 5H_2O + NH_2C_2H_4OH \cdot MnSO_4 \cdot 3H_2O$
7	12,69	59,86	19,18	57,89	$NH_2C_2H_4OH \cdot MnSO_4 \cdot 3H_2O$
8	12,58	55,42	18,20	56,41	То же
9	12,51	51,82	19,90	55,33	--//--
10	12,75	48,81	19,29	53,58	--//--
11	13,10	43,56	20,45	53,54	--//--
12	15,21	39,90	20,16	51,60	--//--
13	16,39	34,33	20,94	50,22	--//--
14	18,30	30,11	21,12	47,49	--//--
15	19,26	24,80	22,08	50,77	--//--
16	22,32	20,39	22,36	45,44	--//--
17	24,10	15,23	23,29	47,63	--//--
18	26,41	12,18	24,48	41,52	--//--
19	28,50	8,72	24,60	45,80	--//--

Таблица 4.

Межплоскостные расстояния $MnSO_4 \cdot 5H_2O$, $NH_2C_2H_4OH \cdot MnSO_4 \cdot 3\ H_2O$

$MnSO_4 \cdot 5H_2O$				$NH_2C_2H_4OH \cdot MnSO_4 \cdot 3\ H_2O$			
d,A	J/Jo	d,A	J/Jo	d,A	J/Jo	d,A	J/Jo
7,66	10,96	1,634	15,85	11,30	79,331	1,854	27,59
4,91	60,98	1,616	18,29	7,35	31,03	1,833	34,48
3,82	14,63	1,598	9,76	6,02	51,72	1,799	34,48
3,50	100	1,577	8,54	4,91	34,48	1,774	37,93
3,37	42,68	1537	8,54	4,37	31,03	1,701	34,48
3,14	62,195	1,482	12,195	4,54	48,28	1,674	37,93
2,58	47,56	1,424	6,097	3,79	37,93	1,659	41,38
2,42	9,76	1,301	10,96	3,70	58,62	1,571	41,38
2,36	18,29			3,06	100	1,537	41,38
2,25	23,17			3,00	89,66	1,463	27,59
2,14	15,85			2,82	41,38	1,344	27,59
2,10	17,07			2,60	27,59		
2,02	17,07			2,51	51,72		
1,972	9,76			2,42	44,83		
1,871	10,96			2,10	34,48		
1,747	9,76			2,01	34,48		
1,717	19,51			1,988	27,59		
1675	9,76			1,967	27,59		

Основные межплоскостные расстояния сульфата марганца пятиводного имеют значения 4,91; 3,50; 3,14; 2,58; 2,25Å с интенсивностью 61, 100, 62, 48, 20, соответственно. Для $NH_2C_2H_4OH \cdot MnSO_4 \cdot 3H_2O$ характерными являются следующие дифракционные линии: 11,30; 6,02; 4,54; 3,70; 3,06 Å с интенсивностью 79; 52; 48; 59; 100, соответственно.

Проведенные физико-химические исследования по изучению взаимодействия и растворимости моноэтаноламина с солями микроэлементов, синтез новых соединений на их основе и выявление их эффективности в сельскохозяйственном производстве в качестве стимуляторов роста и развития растений послужили основой для разработки технологии получения стимуляторов роста нового поколения полифункционального действия. Предварительные агрохимические испытания показали, что они повышают урожайность хлопчатника и зерновых культур на 3-7 ц/га и улучшают качество продукции.

Использованная литература

1.Исабаев З., Саибова М.Т. Система моноаммонийфосфат-моноэтаноламин-вода при 50°С //Журн. неорг. химии.1987.-Т.32, №8.-С.2035-2037.

2. Исабаев З., Саибова М.Т., Аскарова М.К. Система диаммонийфосфат-моноэтаноламин-вода при 25 и 50°С //Журн. неорг. химии.1982.-Т.27, №3.-С.2421-2425.

3.Химическая регуляция роста и развития растений. Рига : Зинайте. 1969. 13 с.

4.Патент №3897241 (США). Опубл. в РЖХ, 1976, 100549 П.

5. Леопольд А. Рост и развитие растений. М.: Мир. 1968. 99 с.

6.Сигэаки В., Юкиаки К. Патент 50-2902 (Япония) - опубл. в РЖХ 1975. I 0469 П.

7. ГОСТ 20851.1-75-ГОСТ 20851.4-75 Удобрения минеральные. Методы анализа. Москва, Переиздание, август, 1986, С.10.

8. Климова В.А. Основные микрометоды анализа органических соединений.-Москва: “Химия”, -1975. -207 с.

9.Blagrov R.J, Oruen Z.C. Mikrochimica, Acta. №4. 1971. С.679.

10.Гиллер Я.Л. Таблицы межплоскостных расстояний.-Москва: “Недра”, 1966.-Т1.- С. 362.

11.Берг А.Г. Введение в термографию.-М.: АН СССР, 1961.-368 с.

EFFECT OF PROPULSIVE FORCE WITH NO REACTION MASS EJECTION IN ENGINEERING AND NATURE NOT CONTRADICTING WITH NEWTONIAN MECHANICS

Vasily Ivanovich Bogdanov
Public joint-stock company "UEC-Saturn",
expert, Doctor of Engineering,
163, Lenin av., Rybinsk, 152903, Yaroslavl region, Russia

ABSTRACT

The necessity to take into account friction forces momentum (impact losses) in the momentum equation of interacting deformable bodies is shown. Occurrence of propulsive force in devices with no reaction mass ejection is explained in terms of Newtonian mechanics exemplified by the so-called inerzoids, due to the gap between the efficiency coefficient (losses) in the process of expelling and addition of the same sloshing mass. The possibility of manifestation of this effect at the atomic level under the influence of inertial forces and the magnetic field in nature and in technology is considered as a hypothesis. A mechanical device creating propulsive force, in the form of an inerzoid, implementing oarer biomechanics for outer space is proposed.

Keywords: Momentum equation, inerzoid, additional mass, Meshchersky equation, hidden mass, dark energy, magnetic field, gravitational constant, outer space, oscillating process.

Introduction

To fly in space, jet thrust is required, which is determined by energy and consumable reaction mass. If a space-flight unit (SFU) can obtain energy from an energy-intensive nuclear plant or the Sun, which is considered to be inexhaustible source of energy, then the mass of expellant, the consumable mass, is always limited. Basically, the energy (chemical) and the consumable mass are combined in the rocket fuel; these are its reserves on board of a SFU that limit its capabilities, especially for interplanetary flights. Therefore creation of the space jet engine with high specific impulse, even a small thrust, is of current interest.

In recent decades, numerous experimental studies confirmed possibility to create thrust in devices with no mass ejection. But the problem here is to explain this phenomenon or effect without violating the laws of conservation. Understanding the physics of the process of thrust occurrence would qualitatively raise its efficiency. Existing publications recognize this phenomenon and attempt to explain it and implement in the framework of state programs [1, 2, 17]. However, given that the scientific world is at the beginning of the way of knowing this process, it is advisable to carefully consider other versions, even at the level of hypotheses, which could complement each other. Below we consider the explanation of this phenomenon in terms of Newtonian mechanics and its manifestation in nature and technology.

In paper the explanation of this phenomenon in terms of Newtonian mechanics and its possible implementation in technique is considered. The necessity to take into account friction forces momentum (impact losses) in the momentum equation of interacting deformable bodies is shown. Occurrence of propulsive force in devices with no reaction mass ejection is explained in terms of Newtonian mechanics exemplified by the so-called inerzoids, due to the gap between the efficiency coefficient (losses) in the process of expelling and addition of the same sloshing mass. A mechanical device creating propulsive force, in the form of an inerzoid, implementing oarer biomechanics for outer space is proposed. Also the possibility to apply the considered inerzoid mechanism to create propulsive force at the atomic level is considered.

This article is of polemical nature.

2. Theoretical principles and concepts of the effect manifestation.

In the applied gas dynamics [9] for a gas jet taking into account the friction force, the known momentum equation for sections 1-2 with constant area F and without performing work is written as follows:

$$(p_1 - p_2)F - P_{fr} = G(w_2 - w_1),$$

i.e. here friction force P_{fr} is taken into account, and p and w are the gas pressure and velocity, respectively.

The correlation to define the nozzle thrust [10] obtained for TJE using a common method from the momentum equation, introduces the speed ratio, taking into account the internal losses due to friction and compression shock waves.

For the thrust augmenting ejector [9], in which the active (ejecting) and ejected jets interact, the efficiency coefficient is introduced in the correlation determining the thrust augmentation ratio, taking into account the impact losses of the interacting masses.

$$\frac{P}{P_o} = \sqrt{(n+1)\eta}, \qquad (1)$$

Where P/P_0 is the thrust ratio with the thrust augmenting ejector and without it (thrust augmentation ratio);

$n = G_2/G_1$ is the ratio for the flow rate of the ejecting and the ejected gas (the coefficient of ejection);

η is the coefficient of the thrust augmenting ejector.

In works [9,10], the presented relations subject to the efficiency coefficient of gas mass interaction processes in the flow are confirmed by numerous experiments and are widely used in practice.

In the general physics [11], the law of conservation of momentum for two interacting solids

(let us assume that solid m_2 is at rest before impact) under the inelastic impact is as follows:

$$w_1 m_1 = w_2(m_1 + m_2) \text{ or}, w_2(m_1 + m_2)/w_1 m_1 = 1 \quad (2)$$

There are no impact losses (friction during deformation); they are reflected only on the mechanical energy in the form of the efficiency coefficient of the interaction process. The work [6] demonstrates the experiment with a bullet hit in a sand box suspended as a pendulum which mass is 1000 times more than the bullet mass. It was found that the efficiency coefficient of the process is 0.1 per cent. The deflection of the box was measured; the force generated by the box was not measured. The question arises: how correct is the experiment and what would happen to the results if the box was filled with the material with different resistance to bullet penetration. Theoretically, all mechanical energy can be converted into heat and, will the momentum then also be preserved? Momentum is the presence of speed, speed is the mechanical energy. I.e. where no speed is, there is no momentum. This is qualitative assessment. And now let us mathematically estimate the validity of the above momentum equation (2) in terms of the energy conservation law. By inelastic impact some of the kinetic energy is converted into heat, i.e. the kinetic energy decreases. Thus, here, as in the thrust augmenting ejector [4] this ratio of kinetic energies can be taken for the efficiency coefficient of inelastic impact.

$$\frac{w_2^2(m_1 + m_2)}{w_1^2 m_1} = \eta \angle 1$$

Let us transform this relation for energies into the relation for the linear momentum. Let us extract the square root from the left and right sides of the equation:

$$\frac{w_2}{w_1}\sqrt{\frac{m_1 + m_2}{m_1}} = \sqrt{\eta}$$

and multiply by

$$\sqrt{\frac{m_1 + m_2}{m_1}}$$

We will get the ratio of the linear momentum

$$\frac{w_2}{w_1}\frac{(m_1 + m_2)}{m_1} = \sqrt{\frac{m_1 + m_2}{m_1}\eta}$$

unequal 1, which contradicts the equation (2). This ratio corresponds to (1), which is obtained in the same manner.

In view of the above, we can draw the following conclusion: for deformable bodies in which mechanical energy is converted into heat (but there are no absolutely solids in nature), it is necessary to introduce the friction force impulse into the momentum equation. And then, in the closed system, if multidirectional and unequal frictional forces are created (e.g., in the oscillatory process), then unbalanced (propulsive) force with no reaction mass ejection will arise.

Effect of occurrence (creation) of the propulsive force in unsupported motion with no reaction mass ejection can be considered by the example of the known mechanical device of an inerzoid (Fig.1) [3,4,12,] realizing these conditions within the laws of Newtonian mechanics and in particular the Meshchersky equation:

$$m\frac{d\bar{\upsilon}}{dt} = \bar{F} + \bar{u}_1\frac{dm_1}{dt} + \bar{u}_2\frac{dm_2}{dt},$$

where m is the variable body mass; υ is the variable-mass body velocity; u_1 is the relative velocity of separating particles; u_2 is the relative velocity of adjoining particles;

$\frac{dm_1}{dt}$ is the mass flow rate (expelling) per second;

$\frac{dm_2}{dt}$ is the mass input (addition) per second; F is the external force.

Figure 1. Inerzoid.

Here, for the inerzoid, the particular solution of the Meshchersky equation is interesting, when for a body the expelled mass is equal to the added mass, i.e. its mass is constant. In the actual practice, at the constant mass subject to the losses, it is possible to create a pulse when an unbalanced force occurs due to different efficiency coefficient values of the processes of mass expelling and adding.

The inerzoid mechanisms, in spite of their variety, can be brought to a simplified diagram (Fig. 2), where: 1 is the shock mechanism, 2 and 3 are the bodies of various elasticity located in casing 4. There are two main phases in the action of the shock mechanism: 1 – when there is its effects on bodies 2, 3 and 2 – (the opposite phase), when there is no impact. There is no wheel drive.

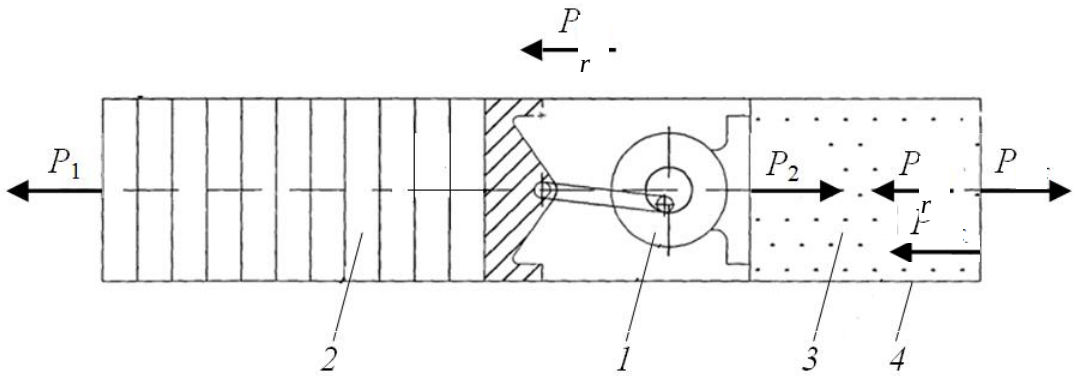

Figure 2. Diagram of propulsive device (inerzoid) with no reaction mass ejection: 1 – shock mechanism; 2 – perfect elastic body; 3 – non-elastic body; 4 – casing.

Let us consider the inerzoid loading pattern (Fig. 2). For better understanding the physics of this process let us make the following assumptions:

- The mass determining the momentum is focused within the shock mechanism;
- Body 2 is perfectly elastic;
- Body 3 is non-elastic;
- There is no friction between the parts of the shock mechanism (it is not fixed on the casing), bodies 2 and 3 and casing 4 walls;
- $P_1 = P_2$ are the forces transmitted by the shock mechanism to body 2 and 3;
- $P_{fr.}$ is the frictional force generated at deformation in non-elastic body 3;
- $P_{r.}$ is the residual force transmitted by non-elastic body 3 to the right end face of casing 4.

Owing to perfectly elastic body 2, force P_1 is transmitted to the left end face completely. When the shock mechanism is in the opposite phase, when there is no action of the shock mechanism on body 2 and 3, $P_1 = 0$, $P_2 = 0$, the following equation of forces is not realized (there is no propulsive force).

For the assumed loading pattern the equation of the forces acting simultaneously on the end faces of the casing is written to determine only the instantaneous value of the propulsive force. We assume the direction of propulsive force $P_{pr.}$ as positive.

$$P_{pr} = P_1 - P_r$$

To determine the $P_{r.}$ let us write down the equation of the forces acting on the non-elastic body

$$P_2 = P_{fr} + P_r \text{, then}$$

$$P_1 - P_2 + P_{fr} = P_{pr} \text{, and}$$

$$P_{pr} = P_{fr}$$

In theory it is possible that $P_{r.} = 0$ (all mechanical energy transfers into heat), then

$$P_{pr} = P_1$$

In bodies 2 and 3 during the shock mechanism operation in the oscillating process, mass addition can occur with an efficiency conditioned by the bodies' elasticity. Inerzoids are the mechanisms where due to asymmetric elasticity and accordingly different efficiency coefficients of the processes of adding and expelling solid mass in the oscillating process, the unbalanced force occurs.

If there were the possibility to manufacture the inerzoid mechanism from absolutely solid material, then no motion would occur.

It should be noted that such inerzoid was successfully tested in 1996 in LLC "Faraday" (Tula) [10]. In [10] it is noted that the idea of the experiment has long been known – it was reflected in the American journal "Popular Science" No. 126 of 1935. However, there was no theoretical justification of the equations in these publications.

Let us show how this simplified mechanism of creating propulsive force can be manifested in nature and implemented in technology. In this case, we will be guided by the following rules for obtaining scientific knowledge, established by I. Newton [14]:

- Ontological assumption on the nature simplicity: do not allow more causes than are enough to explain visible acts of nature; this rule evolves a well-known

principle of simplicity by W. Occam, pointing to the necessity of searching for simple explanations;

- Ontological idea of the uniformity of nature: one and the same phenomenon should as far as possible be explained by the same causes.

Since there was no there was no visible interaction with the ambient atmosphere in experiments with the inerzoids (Fig. 2), new theories (gravitational, torsional fields, etc.) were suggested to resolve contradictions with the law of momentum conservation, which did not comply with the above-mentioned rules. However, the new theories did not give well-defined explanations of the effects achieved, and so they were subjected to criticism. The following, partly new scientific data can clear up the question:

1. PJSC "UEC-Saturn" (Rybinsk) has conducted tests of the experimental pulsejet engine with the thrust augmenting ejector based on a high-frequency slide valve constant volume (V=const) combustion chamber of a new type [3, 4, 12].

It was demonstrated that addition of gas mass inside the channel that increases the thrust can occur in the oscillating process, i.e., one and the same gas mass can create thrust first as an active and then as an additional mass. In this situation the kinetic energy (dynamic pressure) is converted to pulse. The additional mass can repeatedly participate in generation of thrust in the oscillating process; it is difficult to measure or to take into account. When determining the specific characteristics of the engine (attributed to the mass flow) may even be in conflict with the laws of conservation due to this "hidden" mass. I.e. by the indirect estimation the real additional mass can become "hidden".

2. At NASA Glenn Research Center during experimental research of a pulsejet thrust augmenting ejector with a resonance device at inlet [16], the ejecting process efficiency of 1.15 was obtained that contradicts the laws of conservation. The reverse gas flow at definite periods of time was observed. The authors of the research fell short in their efforts to offer an explanation for this phenomenon. The contradiction can be resolved provided one and the same air mass is used first as an active and then as an additional mass within the oscillating process, i.e. as in the previous case.

Under certain conditions, transformation of the active mass into the additional one is also possible in the single non-stationary cycle (with continuous efflux). This occurs when the flowing out gases lose gradually kinetic energy, e.g. due to friction, or when the power of the energy source increases (during the cycle), i.e. the subsequent masses of the gas have a greater velocity. This effect can be explained via such time-stretched visual unsteady single process as volcanic eruption. At the beginning of eruption, the first masses of erupted magma would remain near the crater creating momentum as an active mass. However, the subsequent flowing out of magma masses affects the previous ones driving them into motion and turning these masses into the additional ones increasing momentum. I.e. one and the same mass in the flow without pulsations participates in creating momentum twice – first as an active mass, then as the additional one.

The "hidden mass", "dark matter", "vacuum energy" – these usually related concepts are used to explain some technical and cosmic phenomena, when there are problems with application of laws, such as the laws of Newtonian mechanics. However, not everything has received explicit recognition.

To understand "the vacuum energy" ("the hidden energy"), such remarkable fact can be referred to from the unsteady gas dynamics [14], which is not immediately perceived even by the experienced specialists in gas dynamics.

When a vacuum vessel is filled with ambient air, the inside temperature increases by 115K, i.e. the internal energy increases. Moreover, vacuuming could be carried out arbitrary long ago, even in the time of the Big Bang. At first glance this phenomenon can demonstrate the so-called vacuum or the gravity energies, but there is fairly simple explanation based on the first law of thermodynamics, which in the absence of heat transfer will be written as follows:

$$Q = U_2 - U_1 + L_{out} = 0$$

When the vessel is filled, there is change in volume, and hence there is outer work $L_{out.}$ This results in change in internal energy $U_2 - U_1$ (in more detail in [14]). Here, the source of increasing internal energy is the work previously spent on vacuuming the vessel.

It should be noted that the cyclic nature of the pulsojet operation assumes that each implemented cycle, as in the experiment with the vacuumed vessel, at the beginning receives parts of the energy (temperature increase) from the previous and then transfers it to the subsequent cycle [14].

The obtained results can help to solve technical problems arising in the study of unsteady gas-dynamic processes, especially in terms of understanding their physics. In addition, as noted above, it is advisable to consider them in relation to cosmology, where there is also the problem of the "the vacuum energy" and "the dark matter". The Big Bang theory, which explains the origin of the Universe, is now largely accepted. This assumes a starting point, i.e. a singular state in which the laws of physics do not apply. However, there is a point of view [15] that "the basic model of the Big Bang is not able to explain the three main features of the observable Universe. Such features encompass inability to explain the temperature observed in the modern Universe, existence of galaxies, and expansion of the Universe. If a new discovery is made that does not fit into the standard model of the Big Bang, then scientists introduce new substances wherein, for example, "the dark energy" and "the dark matter", the existence of which also needs to be proved. There are other theories, e.g. [15] "the cyclic one: endless series of compression and expansion of the Universes." And this can be accompanied by the phenomena caused by increase in temperature ("the dark energy") and occurrence of the additional mass ("the hidden mass"), due to the cyclical nature and the explained above. I.e.

there is no "dark mass and dark energy", but there is the additional mass and the energy of the previous cycle. At mass interaction such phenomenon occurs as unstable accumulation of the additional mass and its uneven distribution in space [7].

Let us consider as a hypothesis possibility to apply the considered inerzoid mechanism to create propulsive force at the atomic level. It is known that all atoms of a solid execute thermal oscillations. There are strong interactions between atoms of a solid [16]. The nucleus in which the mass of the atom is concentrated oscillates in the system "the nucleus − the electronic shell". Asymmetry of this system can be created due to the following factors:

1. Under the influence of the magnetic field, it is possible to form the electronic shell and to generate an asymmetric system in which the force interaction is determined inversely to the square of the distance. As a result, the atoms as a set of inerzoids in the oscillating process create total unbalanced propulsive force.

The so-called "impossible" electromagnetic rocket engine with no reaction mass ejection invented by Roger Schauer [18] and Leonov [8] can partly lend evidence to this phenomenon. The possibility to create such low-thrust engine is confirmed by NASA, papers highlight asymmetry in the electromagnetic system of the engine with a high-frequency magnetron, but there is no explanation for the mechanism of creating thrust.

It can also be accepted as a hypothesis that the gravitational force can be formed in this way, without the gravitational field. Then the well-known problem of creating the unified field theory is solved. It should be recalled what Newton said about his gravitation theory: "It says how bodies move. That should be enough. I've told you how they move, but not *why*". However, there were attempts to answer the "why", but they did not receive recognition.

2. Under the influence of acceleration, the nucleus, in which the mass of the atom is enclosed, together with the electronic shell can also form the asymmetric system described above creating propulsive force. The main interest for outer space and the technology is centrifugal acceleration. Numerous experiments [19] with rotating masses show encouraging results in the creation of antigravitational forces.

It is necessary to conduct research at the subatomic (quantum) level as to creating propulsive force from the influence of the magnetic field and inertial forces. Probably, these studies should result in creating a quantum gravitation theory (so far there are only hypotheses). This approach will be consistent with the hypothesis put forward at the University of Leiden (Holland), according to the results of the latest fundamental studies of the Universe, which indicates that the gravity is the temporary phenomenon and the side effect, but not the reason to what happens in the Universe. It can be assumed that at every point in the Universe, the magnetic field and acceleration will determine the gravitational force, its magnitude and the direction of action (without the gravitational field). That is, the gravitational constant at the periphery of the Universe can change dramatically, as Dutch scientists discovered.

3. The core can be shifted and made to oscillate more intensively due to the directed addition of energies, such as the acoustic or the vibration one.

Within the suggested hypothesis the known gravitation formula

$$F = \frac{\gamma mM}{r^2}$$

remains unchanged, just γ should be called the gravitational constant, e.g. gravitation coefficient which at each point of the Universe will be different. Now the gravitational constant is determined empirically under the conditions of the earth surface, under specific conditions, but its constancy extends to the Universe. Proposals to measure it, for example, in the conditions of the Moon are considered to be unsubstantiated. And here the question arises, whether due to this accepted constancy γ we have to reckon such possible versions of the structure of the cosmic bodies: ferrum inside the Earth, the Moon should have hollowness, existence of planets being gas giants. Maybe each planet has its own gravitational constant, and their density does not differ much, and this will correspond to the above-mentioned ontological idea of uniformity of nature.

Attention should also be paid to the following facts:

- Periodic measurements of the gravitational constant record its changes, which are attributed to the measurement error;
- The Earth's magnetic field is changing; the North Pole is shifting at increasing speed (60 km per year in 2004).

Possibility of pole change is not excluded; it is assumed that this has already happened. That is, strong change in the Earth's magnetic field can change the effect on the mechanism of interaction of masses at the atomic level and accordingly change the gravitational constant.

There exists a hypothesis that the extinction of dinosaurs occurred at the reversal of poles. The square cube law known in technology (in relation to strength) is also valid for the musculoskeletal systems of living organisms. The force created by the muscle is proportional to the area of its cross-section (the square of the linear size) and therefore lags behind the mass (proportional to the cube of the linear size) when the size of a living organism increases. This reduces the ratio of the developed strength to the weight and makes the body less mobile and viable. It can be assumed that the change of poles has increased the gravitational constant and the living beings with small mass turned out to be more viable. It should be noted that the mass of some species of dinosaurs amounted to 70 tons.

The known phenomenon, i.e. short-time weight reduction in the human body and other living organisms under definite conditions called "levitation", has not received a well-defined explanation so far.

During the experiments on levitation, muscular trembling was observed with a human being that can be considered as a peculiar pulsating process. The analysis

of the musculoskeletal system of a human being showed its similarity with the inerzoid. More powerful difference (asymmetry) in bones and muscles elasticity, compared to an inerzoid, is obvious. Therefore, it is reasonable to consider the causes of origination of the force reducing the human body weight as a result of the mass interaction in muscles (at their high-frequency contraction) and bones. It is known that some handball and basketball players can hover over in the air for a short time, i.e. create the force comparable to the weight. Probably, subject to knowledge of this biomechanics, it is possible to develop ability of the astronauts' organisms to control the movement of their body in space with the help of training.

3. Example of possible implementation of the effect in engineering.

To fly in space, jet thrust is required, which is determined by energy and consumable reaction mass. If a space-flight unit (SFU) can obtain energy from an energy-intensive nuclear plant or the Sun, which is considered to be inexhaustible source of energy, then the mass of expellant, the consumable mass, is always limited. Basically, the energy (chemical) and the consumable mass are combined in the rocket fuel; these are its reserves on board of a SFU that limit its capabilities, especially for interplanetary flights.

At the same time, low-thrust rocket engines are used in space serving to stabilize the position of SFU, their movement to other orbits, as well as for movement of astronauts in outer space. Thrust of such engines usually does not exceed several kilograms, which is much lower in terms of energy consumption than physical capabilities of a human being.

It is proposed to use the principle of inerzoid motion in the device driven by muscular force to move a SFU in space. Oarers implement the muscular energy to the fullest extent possible (in boat racing). Here, all the major muscles of the legs, back and arms are involved in creating the effort. Fig. 3 shows a device made in the form of an inerzoid with oarer biomechanics implementation in two positions: at the beginning and the end (the dashed line) of the forward travel. For better understanding of the device, its construction diagram is considered in the simplest conventional form. Given the sufficiently large forward travel of the oarer *L* (ca. 1.5 m) pulley tackle 1 is applied setting the working force, providing at the end of the motion small working travel l and corresponding increase in force (*L/l*) for optimal deformation of a non-inelastic body. The pulley tackle is rigidly fixed on SFU structure 2 and has a spring mechanism to bring the device to its original state (during the back travel). The given designations and the equations, respectively, are the same as those of the above-mentioned inerzoid. Non-elastic body 3 is shown here conventionally; it is easily deformable, it does not lose its properties in the work (e.g. something like plasticine). To bring the non-elastic body to its initial state (before the working travel), there is a mechanism for its reversal by 90^0 (not shown in Fig. 3). The working process encompasses two cycles: the working travel with deformation of the non-elastic body and the return (preparatory) travel with rotation of the non-elastic body, i.e. similar to forging a hot metal work piece. As a result of this process unbalanced propulsive force is generated.

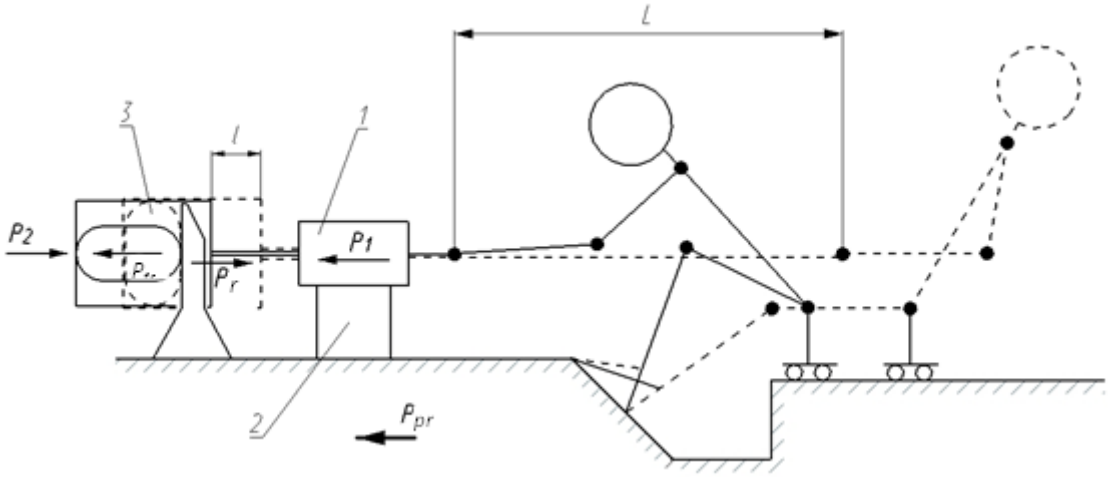

Figure 3. Device for creating propulsive force in space with implementation of oarer biomechanics; 1 – pulley tackle; 2 – elastic body; 3 – non-elastic body.

The non-elastic body can be of another design, e.g. in the form of a mechanism, and possibly with utilization of the released energy, but this requires special research. This device can simultaneously perform the function of a sports simulator for astronauts.

In [20] there is information that in Canada possibility of such method of movement on the water was confirmed on a specially created canoe, but the idea did not go any further. On this occasion, we can note the following:

- Probably the canoe was moving very slowly and it did not arouse practical interest;
- Understanding the physics of the process, it is possible to increase its efficiency (increase the propulsive force) through constructive measures;
- In space, the small force created with no reaction mass ejection is also of great importance.

4. Conclusion

1. Exemplified by using the momentum equation in the applied gas dynamics, in particular, in the theory of the thrust augmenting ejector, the necessity to take into account losses on impact (friction) in the momentum equation of the interacting deformable bodies was mathematically proved.

2. The possibility of creating thrust with no mass ejection is shown on the example of a known mechanical device of an inerzoid using the momentum equation (subject to friction). This also corresponds to the partial solution of the Meshchersky equation, when the mass of expellant and the additional mass are equal (one and the same oscillating mass), and the efficiency coefficient of the processes is different.

3. As a hypothesis, the principle of inerzoid motion is transferred to the atomic level of a solid, where the oscillating nucleus with the electronic cloud under the action of inertial forces and the magnetic field can create an asymmetric system with the unbalanced force.

4. The possible manifestation of the identified propulsive force in nature, space, its implementation in technology, for example in the device implementing oarer biomechanics, is shown.

References

Journal Articles:

[1] Lopota V.A., Glushko V.P., Glushko V.V. On drives without expelling mass in "empty" outer space // Robotics and technical cybernetics, 2018, No. 2; pp. 66-76.

[2] Sarah Scoles. Здоровое безумие. В мире науки /Sane Insanity. Scientific American, 2019, No. 10; pp. 42-49.

[3] Bogdanov V.I. Unsteady mass interaction, inerzoids, propulsive devices with no emission of reaction mass, and the Euler law of momentum conservation // Engineer, 2007, No. 7; pp. 24-26.

[4] Bogdanov V.I. Pulse Increase at Mass Interaction in an Energy Carrier. American Journal of Modern Physics, 2013, Vol. 2, No. 4, pp.195-201.

[5] Frolov A.V. Nanotechnology-inspired ambient power converters. // Alternating kilowatt, 2012, No. 1.

[6] Paxson, D. E. and Wilson, J. Unsteady Ejector Performance: An Experimental Investigation Using a Pulse jet Driver, Paper AIAA-2002-3915, 2002.

[7] Bogdanov V.I., D.S. Khantalin. Features of calculating spherical gas-dynamic reaction thrust resonator augmentor. "Vestnik of P.A. Solovyov RSATU" Rybinsk, 2014, No. 3; pp. 42-47.

[8] Falichev O. Тяга в будущее // Военно-промышленный курьер / Hankering for future // Military-industrial messenger, June 11-17, 2019, No. 22 (785); p. 4.

Books and Book Chapters:

[9] Abramovich G.N. Applied gas dynamics. Publisher "Nauka", 1969; 824 p.

[10] Nechaev Yu.N., Fyodorov R.M. Theory of aircraft gas turbine engines. Part 2. M.: "Machinostroyeniye", 1978, − 336 p.

[11] Kitaygorodsky A.I. Introduction to physics. Publisher "Nauka", 1973; 688 p.

[12] Bogdanov V.I. Pulsating working process in jet propulsion. Germany: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2015.

[13] History and Science Philosophy. Edited by Professor Yu.V. Kryanev and Professor L.E. Motorina, Study guide. M.: Alpha - M. INFRA-M, 2008.

[14] Eliseyev Yu.S., Manushin E.A., Mikhaltsev V.E. et al. Theory and design of gas turbine and combined power plants – M.: Publisher of the Bauman MSTU, 2000; 640 p.

[15] Kolpakova A.V., Vlasenko E.A. Mysteries and riddles of the universe. − M.: OLMA Media Group, 2014; 256 p.

[16] B.M. Yavorsky, A.A. Detlav. Physics handbook. M.: Nauka, 1990; 634 p.

Websites:

[17] NASA Innovative Advanced Concepts (NIAC) Program: https: //www.nasa.gov/directorates/spacetech/niac/index.html

[18] EmDrive Engine, http: // spacegid.com.

[19] Gyro antigravity, http: // mydocx.ru.Quot.

[20] Thornson Engine, http: // trinitas.ru./rus/doc/0231/004a/02311023, htm.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФАЗОВОГО СОСТОЯНИЯ ПРИРОДНЫХ СИСТЕМ ПРИ ВЫСОКИХ ДАВЛЕНИЯХ И ТЕМПЕРАТУРАХ

DOI: 10.31618/ESU.2413-9335.2020.1.72.620

Гамидов Натиг Нейман оглы
Кандидат технических наук, доцент,
НИПИ "Нефтегаз", SOCAR,
Азербайджанской Республики

АННОТАЦИЯ

Статья посвящена обобщению результатов экспериментальных исследований по изучению влияния различных факторов на фазовое поведение газоконденсатной системы. Данными по углеводородным смесям из глубокозалегающих месторождений Азербайджана, несомненно, может внести существенный вклад и дать дополнительный импульс для уточнения математических методов моделирования фазового поведения, которые могут быть полезными при решении различных вопросов, связанных с разработкой конкретных месторождений нефти и газа, а также при выборе оптимальных режимов добывающих скважин.

Ключевые слова: углеводородная система, газоконденсатное месторождение, фазовое поведение, давление конденсации, конденсатосодержание, ретроградное явление.

Введение

Процессы добычи, транспорта и переработки нефти и газоконденсата, как правило, сопровождаются фазовыми переходами. Интенсивность и особенности этих переходов, а также свойства образующихся фаз зависят от большого числа факторов [1-5, 11, 12]. Имеется большое количество публикаций, посвященных экспериментальному изучению особенностей этого процесса [6-10, 13]. Важно отметить, что большая часть этих экспериментальных исследований выполнялась на бинарных, тройных и n-компонентных искусственных смесях, в то время как значительно меньше таких исследований выполнено для естественных углеводородных систем, особенно в области давлений выше 40,0-50,0 МПа [1, 6, 11]. Вместе с тем, за последние 15-25 лет открыты и введены в промышленную разработку глубокозалегающие газоконденсатные и газоконденсатнонефтяные месторождения, имеющие аномально высокие пластовые давления выше 70,0-80,0 МПа. Знание особенностей свойств углеводородов таких залежей, правильное прогнозирование их фазового поведения очень важно для нефтегазодобывающей отрасли. Кроме того, существующие на сегодняшний день математические методы моделирования фазовых переходов базируются именно на результатах экспериментального изучения этой проблемы [4, 12]. И дальнейшее совершенствование математических методов моделирования, а также создание принципиально новых подходов для экспресс-прогноза состава и свойств фаз зависят от объема и качества накопленных экспериментальных данных в этой области. Поэтому работы в этом направлении продолжаются по сей день, несмотря на дороговизну и трудоемкость самих экспериментов [11. 12, 14, 15].

В этом смысле, дополнение банка экспериментальных данных, имеющихся в мировой литературе, данными по углеводородным смесям из глубокозалегающих месторождений Азербайджана, несомненно, может внести существенный вклад и дать дополнительный импульс для уточнения математических методов моделирования фазового поведения таких систем, особенно в области высоких давлений и температур.

Экспериментальные исследования и полученные результаты

Эксперименты проводились с двумя типами конденсатов - легкими (скв.111) и тяжелыми (скв.56), отобранными из скважин месторождения Булла-дениз (Азербайджан), ближе к начальному этапу вступления их в эксплуатацию (1982 и 1989гг.). В табл.1, показаны начальные составы газов и некоторые свойства конденсатов из скв. 111 и 56.

Табл.1

Сведения о составах и свойствах флюидов

Компо-нентный состав	Скважина 111		Скважина 56	
	содержание, мол.%	свойства конденсата	содержание, мол. %	свойства конденсата
N_2	0	плотность 745.7 кг/м^3	0	плотность 810.6 кг/м^3
CO_2	0.2		0.21	
C_1	85.05	молекулярная масса M=152	89.11	молекулярная масса M=167
C_2	6.40		5.46	
C_3	1.19		1.50	
iC_4	0.27		0.23	
nC_4	0.40	начальное конденсатосо-держание 300 г/ м^3	0.34	начальное конденсатосо-держание 200 г/ м^3
iC_5	0.16		0.13	
nC_5	0.10		0.10	
C_6	0.02		0.02	
C_{7+}	6.21		2.9	

Для изучения поведения системы скв.111 (табл.1) при различных давлениях и температурах были определены значения давления начала конденсации в интервале температур 10-140°С. Результаты измерений в виде фазовых огибающих на рис.1 послужили основанием для выбора температуры и соответствующего ей давления однофазного состояния системы для проведения последующих этапов планируемого комплекса исследований. Эксперименты показали, что, несмотря на высокое конденсатосодержание, система достаточно легко испаряется в газовую фазу даже при температуре 40°С. Как видно из рис.1, при температуре 80°С давление однофазного состояния составляет 31,6 МПа. При этой температуре была исследована изотерма конденсации (рис.2) в целях определения давления максимальной конденсации. Как видим, давление максимальной конденсации находится в районе 18,0-19,0 МПа.

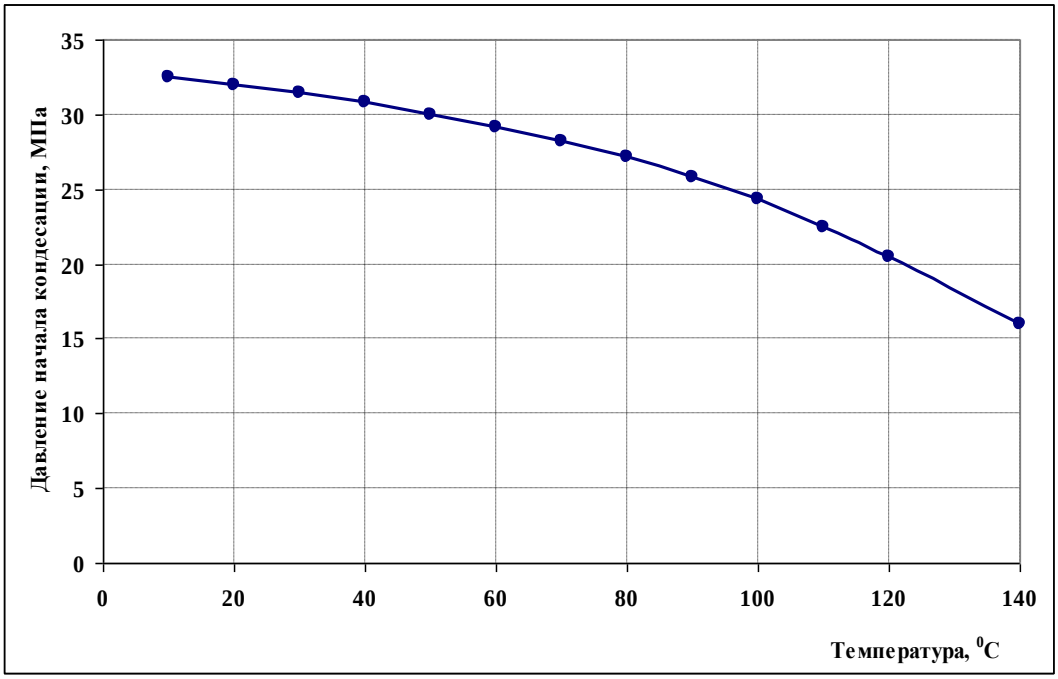

Рис.1. Зависимость давления начала конденсации от температуры по скв.111

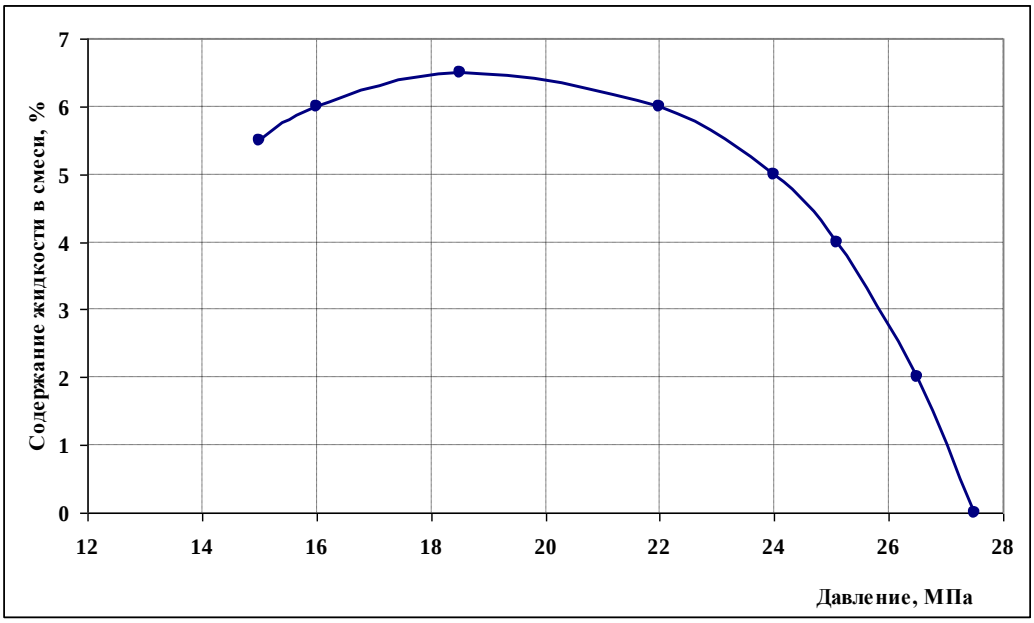

Рис.2. Контактная изотерма при Т-80°С (скв. 111)

Этот диапазон давления и был выбран для изучения фазовых превращений системы газ-жидкость, при котором количество жидкой фазы принимает максимальное значение - 6,5% объема. Для этих условий нами определены составы газовой и жидкой фаз и константы фазового равновесия (К) для каждого компонента (табл.2).

Табл.2

Составы фаз и константы фазового равновесия при P=18.6 МПа, T= 80° C

Компоненты	Состав газовой фазы, моль %	Состав жидкой фазы, моль %	K
N_2	–	–	–
CO_2	0.2	0.16	1.27
C_1	88.67	46.24	1.92
C_2	6.34	7.0	0.90
C_3	1.13	1.95	0.58
i-C_4	1.24	0.56	0.13
n-C_4	0.35	0.95	0.37
i-C_5	0.13	0.49	0.27
n-C_5	0.08	0.34	0.24
C_6	0.02	0.08	0.16
C_{7+}	2.85	42.23	0.07

Нами также исследовано поведение жидкой фазы при контакте с газами разного состава. Для этого эксперименты включали следующие этапы:

1. Не меняя жидкую фазу, газовая фаза при постоянном давлении была вытеснена из бомбы и заменена на другой газ, в составе которого находилось 17,8 % N_2 (табл.3, смесь1).

Табл.3

Состав "сухого" газа

Компоненты	Состав сухого газа, моль. %		
	смесь 1	смесь 2	смесь 3
N_2	17.800	8.028	0
CO_2	0.172	0.198	0.21
C_1	75.058	84.318	91.332
C_2	5.439	5.722	6.621
C_3	0.862	0.973	1.048
i-C_4	0.189	0.213	0.2301
n-C_4	0.279	0.314	0.3401
i-C_5	0.114	0.129	0.140
n-C_5	0.073	0.083	0.09
C_{6+}	0.008	0.009	0.0099

При контакте жидкой фазы с газом нового состава, естественно, происходит перераспределение компонентов в фазах, и изменяется общая доля жидкой фазы в системе. После установления равновесия были определены составы газовой и жидкой фазы и константы фазового равновесия покомпонентно (см.табл.4).

2. После этого углеводородная система из бомбы pVT полностью была удалена, затем бомба промывалась и загружалась снова смесью, состав которой приведен в табл.1, т.е. эксперимент заново повторялся для тех же условий, система опять доводилась до двухфазного состояния, газовая фаза удалялась при постоянном давлении и заменялась на новую смесь (табл.3, смесь 2). Таким образом, получено новое распределение компонентов по фазам и новые константы равновесия (табл.4).

3. Пункт 2 повторяется полностью, но при этом для контакта с жидкостью используется смесь 3 из табл.3. Результаты исследований приведены в табл.4. Таким образом, нами рассмотрено, как три разные по составу газовые смеси (из табл.3) при контакте с жидкой фазой (составы из табл.1) влияют на фазовые переходы компонентов.

Фактически, смеси в табл.4 различаются тем, что в один и тот же по составу газ сепарации (смесь 3) добавлялось разное количество азота (N_2). Таким образом, можно проследить, как процентное содержание азота влияет на константы фазового равновесия фаз (K) при постоянном P и T.

Табл.4

Сведения об изменении констант равновесия в зависимости от содержания N_2 для конденсата скв.111

Компоненты	Нач. состав	N_2 = 0%			N_2 = 7.6 %			N_2= 17.8 %		
		состав газ. фазы	состав жидк. фазы	К	состав газов. фазы	состав жидк. фазы	К	состав газов. фазы	состав жидк. фазы	К
N_2	0	0	0	-	7.6	2.010	3.78	17.03	3.321	5.127
$C0_2$	0.20	0.207	0.160	1.295	0.193	0.145	1.326	0.175	0.119	1.467
C_1	85.05	89.225	44.795	1.992	83.055	39.667	2.094	74.943	31.877	2.351
C_2	6.4	6.628	7.277	0.911	5.804	6.423	0.904	5.560	5.794	0.960
C_3	1.19	1.094	1.933	0.566	1.017	1.893	0.537	0.912	1.706	0.535
i-C_4	0.27	0.245	0.592	0.414	0.226	0.591	0.383	0.202	0.542	0.373
n-C_4	0.40	0.366	1.036	0.353	0.336	1.043	0.322	0.299	0.980	0.303
i-C_5	0.16	0.152	0.600	0.254	0.139	0.615	0.225	0.122	0.590	0.206
n-C_5	0.10	0.098	0.431	0.228	0.089	0.444	0.200	0.077	0.431	0.179
C_6	0.20	0.013	0.085	0.152	0.012	0.089	0.129	0.010	0.089	0.112
C_{7+}	6.21	1.971	43.09	0.046	1.531	47.08	0.032	0.670	54.543	0.012

На рис.3, показано изменение К в функции процентного содержания азота. Как видим, увеличение N_2 в системе приводит к снижению величины К для тяжелых компонентов (C_4-C_{7+}), к увеличению C_1-CO_2 и сложному поведению углеводородов C_2-C_3, т.е. незначительному росту значения К для C_2, а также незначительному снижению К для C_3 с ростом содержания N_2. Следует также отметить, что сказанное, естественно, сказалось и на объеме жидкой фазы в бомбе. С ростом азота доля жидкой фазы в системе росла от 3,3 до 4,4 %.

Для второй серии экспериментов были использованы более тяжелые системы, имеющие высокую плотность и молекулярную массу конденсата (табл.1). В этой серии работ нами был несколько видоизменен сам характер экспериментов, т.к. необходимо было работать в области высоких давлений. По двум смесям, составы которых приведены в табл.5, были проведены следующие эксперименты.

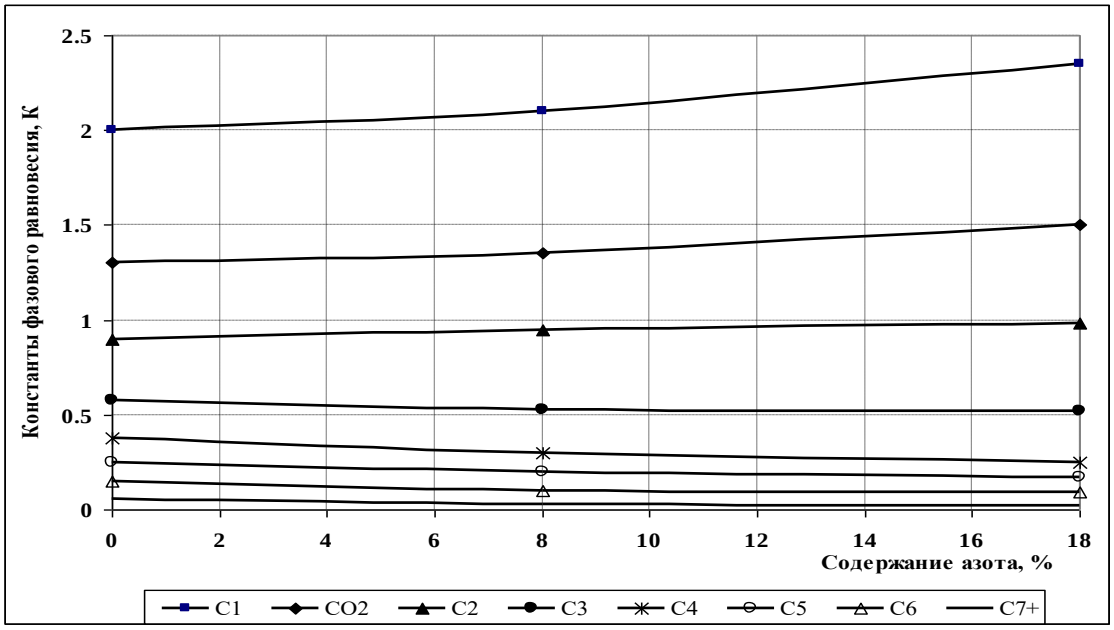

Рис.3. *Изменение констант равновесия в зависимости от содержания азота при P= 18,6 МПа, T = 80 °C (скв.111).*

Табл.5

Исходные составы газоконденсатных смесей

Компоненты	Смесь 1	Смесь 2
N_2	0	12.62
CO_2	0.21	0.60
C_1	89.11	77.00
C_2	5.46	5.71
C_3	1.50	1.08
i-C_4	0.23	0.16
n-C_4	0.34	0.21
i-C_5	0.13	0.08
n-C_5	0.10	0.06
C_6	0.02	0.02
C_{7+}	2.90	2.90

1. При температуре 80°С были получены изотермы конденсации (см. рис.4 и табл.6). Как и следовало ожидать, наличие азота в системе увеличило величину давления начала конденсации. Далее, для обеих кривых определены составы фаз и константы равновесия при различных давлениях.

Табл.6

Сведения о распределении константы равновесия в зависимости от давления для конденсата скв. 56. N_2= 0 %

Ком-понен-ты	Нач. состав	40.0 МПа			50.0 МПа			60,0МПа		
		сост. газов. фазы	сост. жидк. фазы	К	сост. газов. фазы	сост. жидк. фазы	К	сост. газов. фазы	сост. жидк. фазы	К
N_2	0	0			0			0		
$C0_2$	0.21	0.21	0.2	1.05	0.21	0.21	1	0.21	0.21	1
C_1	89.11	89.77	60.62	1.43	89.39	64.09	1.39	89.17	66.76	1.33
C_2	5.46	5.44	6.22	0.87	5.45	6.16	0.88	5.46	6.11	0.89
C_3	1.50	1.43	2.16	0.69	1.49	2.03	0.73	1.50	1.95	0.77
i-C_4	0.23	0.23	0.38	0.59	0.23	0.35	0.66	0.23	0.33	0.70
n-C_4	0.34	0.33	0.61	0.54	0.34	0.53	0.61	0.34	0.51	0.66
i-C_5	0.13	0.13	0.27	0.46	0.13	0.24	0.54	0.13	0.21	0.60
n-C_5	0.10	0.10	0.22	0.44	0.10	0.19	0.52	0.10	0.17	0.58
C_6	0.02	0.02	0.05	0.36	0.02.	0.04	0.45	0.02	0.04	0.52
C_{7+}	2.9	2.29	29.26	0.08	2.64	25.14	0.10	2.34	23.69	0.12

На рис.5, 6 и табл.6, 7 приведены изменения констант фазового равновесия покомпонентно в функции давления для систем с разными процентами содержания азота. Как видно из рисунков, с ростом давления К для компонентов C_2-C_{7+} увеличивается, а для компонента C_1 - наоборот уменьшается. Если сопоставить изменение констант равновесия компонентов при разном содержании азота в системе, то можно заметить, что для смеси 1 (N_2 = 0%) значения констант равновесия для соответствующих значений довольно выше у компонентов C_2-C_{7+}, чем смеси 2 (N_2 = 12.6 %). А для компонента C_1 наблюдается обратная картина. При этом величина К почти не изменяется в зависимости от содержания азота.

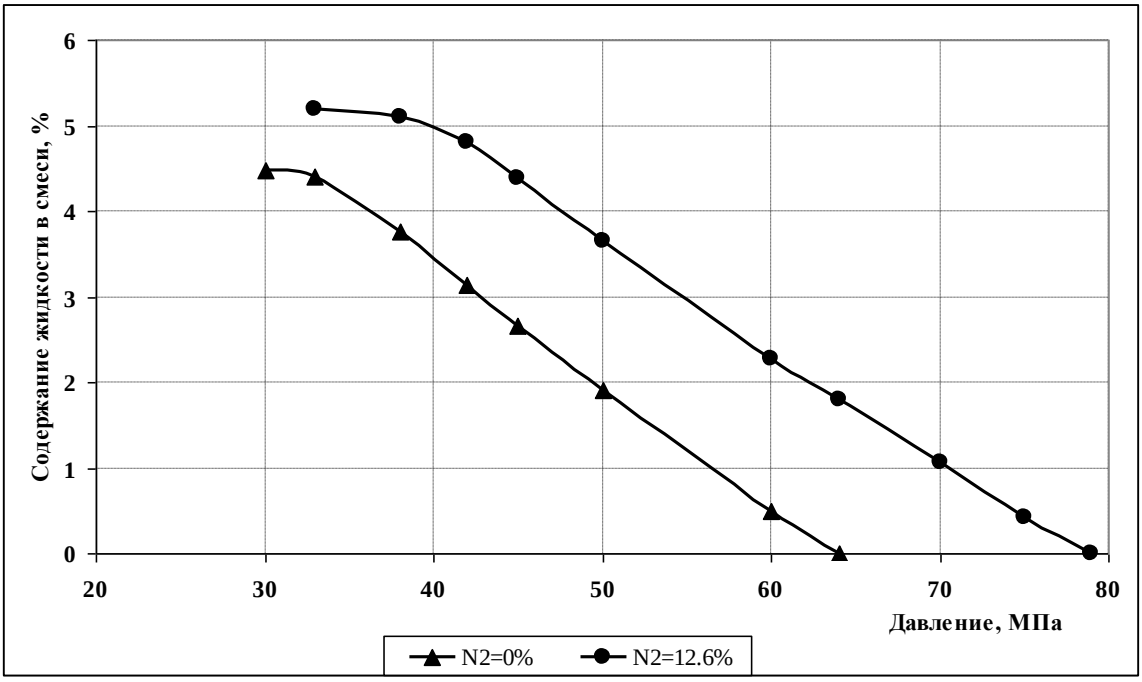

Рис.4. Контактная изотерма при T = 80°C (скв.56)

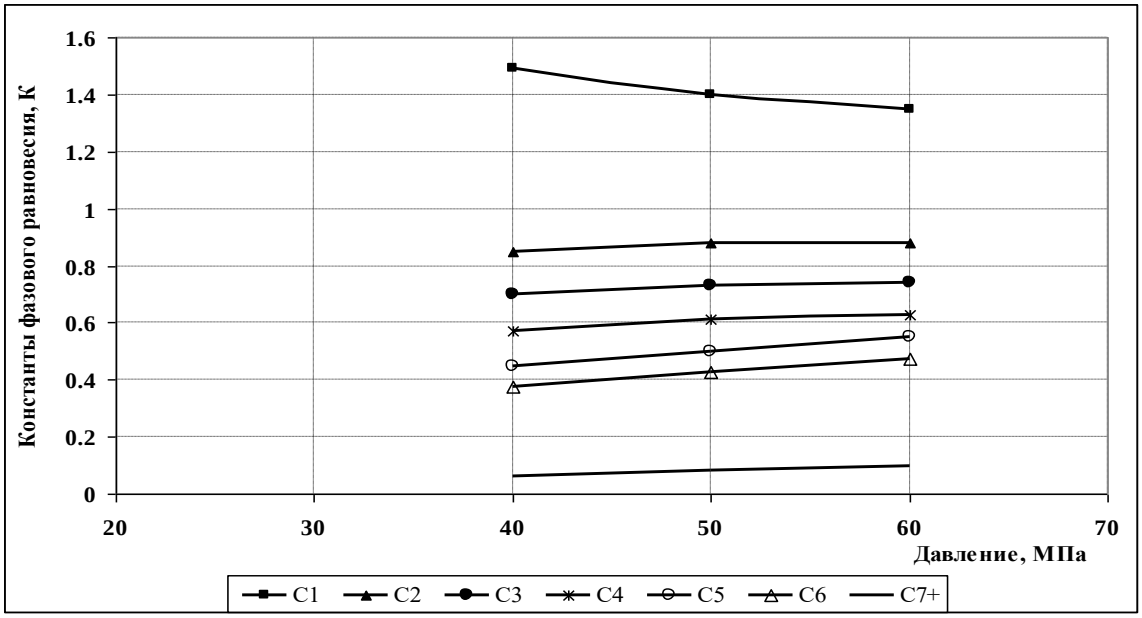

Рис.5. Зависимость констант равновесий от давления при N2 = 0 % (скв.56)

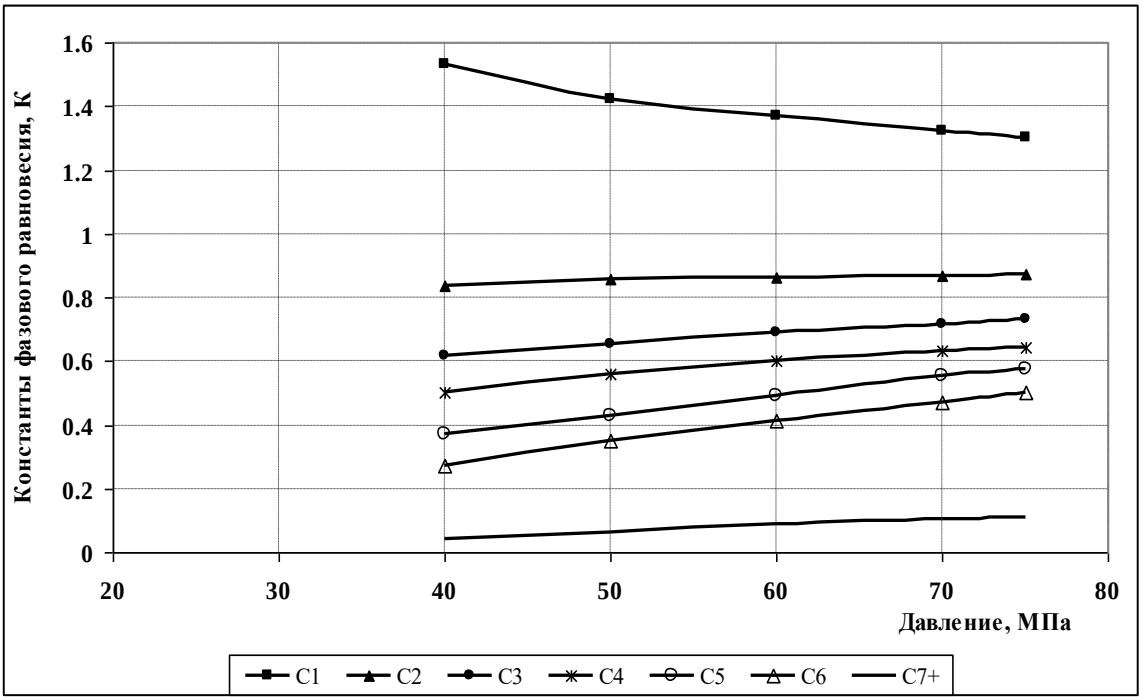

Рис.6. Зависимость констант равновесий от давления при N2=12,6 % (скв.56)

Табл.7

Сведения о распределении констант равновесия в зависимости от давления для конденсата скв. 56. N_2= 12.6 %.

Компо-ненты	Началь-ный состав	40,0 МПа			50,0 МПа			60,0 МПа			74,5 МПа		
		сост. газов. фазы	сост. жидк. фазы	К	сост. газов. фазы	сост. жидк. фазы	К	сост. газов. фазы	сост. жидк. фазы	К	сост. газов, фазы	сост. жидк. фазы	К
N_2	12.62	12.84	6.19	2.07	12.74	7.02	1.79	12.68	7.78	1.63	12.63	8.53	1.48
CO_2	0.16	0.16	0.15	1.05	0.16	0.157	1.02	0.16	0.16	1.0	0.16	0.16	1.0
C_1	77.0	77.89	50.76	1.53	77.51	54.47	1.42	77.27	56.78	1.36	77.05	59.3	1.30
C_2	5.71	5.67	6.76	0.84	5.69	6.69	0.85	5.7	6.62	0.86	5.71	6.54	0.87
C_3	1.08	1.06	1.71	0.62	1.07	1.60	0.67	1.07	1.53	0.70	0.08	1.45	0.74
i-C_4	0.16	0.15	0.30	0.52	0.16	0.27	0.58	0.16	0.25	0.63	0.16	0.23	0.68
n-C_4	0.21	1.20	0.44	0.46	0.20	0.39	0.53	0.21	0.36	0.58	0.21	0.33	0.64
i-C_5	0.08	0.76	0.20	0.38	0.08	0.17	0.46	0.38	0.15	0.52	0.08	0.14	0.58
n-C_5	0.06	0.06	0.16	0.35	0.06	0.13	0.43	0.06	0.12	0.49	0.06	0.11	0.56
C_6	0.02	0.018	0.066	0.279	0.19	0.05	0.36	0.02	0.05	0.42	0.02	0.04	0.50
C_{7+}	2.9	1.87	33.25	0.056	2.31	28.95	11.08	2.56	26.20	0.10	2.84	23.16	0.128

Табл.8

Результаты экспериментов фазового поведения продукции скв.56 в зависимости от давления и содержания N_2

Давление, МПа	N_2 = 0 %				N_2 = 12,6 %			
	Плотность,кг/м^3		Мольные доли		Плотность,кг/м^3		Мольные доли	
	газа	системы	жидкой фазы	газовой фазы	газа	системы	жидкой фазы	газовой фазы
40,0	260,18	654,2	0,02292	0,97708	261,5	670,8	0,03266	0,96734
50,0	299,45	666,0	0,00116	0,98884	304,7	607,7	0,02221	0,97779
52,7	-	-	-	-	314,38	674,7	0,01939	0,98061
60,0	329,11	672,0	0,00299	0,99711	337,53	680,6	0,01313	0,98687
63,3	-	-	-	-	346,74	682,7	0,01070	0,98930
70,3	-	-	-	-	364,52	686,1	0,00590	0,99410
74,5	-	-	-	-	374,16	687,3	0,00312	0,99688

Были также определены составы систем в целом. В табл.8 показаны доли жидкой, газовой фаз и их плотности. Как видно из табл.8, с ростом давления, как и ожидалось, плотности фаз и

мольные доли газовой фазы в системе возрастают. Кроме того, отмечено, что с ростом содержания азота при прочих равных условиях плотность газовой фазы в системе уменьшается.

Заключение

Таким образом, установлены некоторые закономерности изменения фазового состояния продукции скважин глубокозалегающего газоконденсатного месторождения Азербайджана Булла-дениз в зависимости от давления и содержания в смеси азота. Показано, что величина констант фазового равновесия компонентов системы изменяется в зависимости от физико-химических свойств индивидуальных углеводородов, величины давления, а также свойств системы.

Полученные данные представляют интерес как в создании банка данных по термодинамическим свойствам газоконденсатных систем, так и в разработке новых приемов математического моделирования свойств систем для условий глубокозалегающих месторождений нефти и газа.

Список литературы

1.Абасов М.Т., Аббасов З.Я., Фаталиев В.М. Гамидов Н.Н., Мамедова Г.Г. Прикладные вопросы термодинамики при добыче нефти и газа. Баку: Nafta-Press, 2013, 212 с.

2.Абасов М.Т., Аббасов З.Я., Фаталиев В.М. Гамидов Н.Н., Мамедова Г.Г. Экспериментальное исследование влияния различных факторов на показатели процесса истощения газоконденсатной залежи // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. ВНИИОЭНГ, 2011, № 3, с. 65-68.

3. Абасов М.Т., Юсуфзаде Х.Б., Ахмедов А.А. и др. Геология и разработка морского газоконденсатного месторождения Южная. - Баку, "Элм", 1979. 123 с.

4.Аббасов З.Я., Фаталиев В.М. Изучение фазового поведения газоконденсатных систем при давлениях, выше области ретроградной конденсации // Известия НАН Азербайджана. Науки о Земле, 2017, №1-2, с. 65-71.

5.Брусиловский А.И. Фазовые превращения при разработке месторождений нефти и газа. М.: Грааль, 2002, 575 с.

6.Гриценко А.И., Шандрыгин В.Н. и др. Разработка газоконденсатных месторождений с воздействием на пласт. М.: «Недра», 1996, 239 с.

7.Катц Д.Л. и др. Руководство по добыче, транспорту и переработке природного газа. М.: Недра 1965, 765 с.

8.Мирзаджанзаде А.Х., Аметов И.М., Ковалев А.Г. Физика нефтяного и газового пласта. Москва–Ижевск: ИКИ, 2005, 280 с.

9.Мирзаджанзаде А.Х., Кузнецов О.Л., Басниев К.С., Алиев З.С. Основы технологии добычи газа. Москва: ОАО Недра, 2003, 880 с.

10.Рамазанова Э.Э., Велиев Ф.Г. Прикладная термодинамика нефтегазоконденсатных месторождений. М.: Недра 1986, 222 с.

11.Фаталиев В.М., Гамидов Н.Н., Мамедова Г.Г. и др. Экспериментальное изучение влияния плотности оставшегося в пласте конденсата на показатели процесса его испарения // Известия НАН Азербайджана, Науки о Земле, 2013, №3, с. 67-71.

12.Abbasov Z.Y., Fataliyev V.M., Hamidov N.N. The solubility of gas components and its importance in gascondensate reservoir development // Petroleum science and technology, 2017, v. 35, iss. 3, p.p. 249-256.

13.Chawla I.S., Barrufet M.A., Rahman S. et. al. İnfluence of Temperature, Pressure and Molecular Weight of Hydrocarbon Components on the Multi-Phase Equilibria of Hydrocarbon/Water systems / SPE annual Technical Conference exhibition. Texas A&M University. Dallas, U.S.A., 22-25 October, 1995. p.p. 901-916.

14.Hassanzadeh Khadar R., Aminshahidy B., Hashemi A. et.al. Application of Gas Injection and Recycling to Enhance Condensate Recovery // Petroleum Science and Technology, 2013, v.31, iss.10, p.p. 1057-1065.

15.Heidari Sureshjani M., Gerami S., Emadi M.A. A Simple Approach to Dynamic Material Balance in Gas-Condensate Reservoirs // Oil & Gas Science and Technology - Revue d'IFP Energies nouvelles, 2014, v.69, No.2, p.p. 307-317.

УДК 669.052

СОГЛАСОВАНИЕ ФАКТОРОВ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ И ФЛОТАЦИИ МЕДНОСУЛЬФИДНЫХ РУД

DOI: 10.31618/ESU.2413-9335.2020.1.72.618

***А.М. Макашева*[1]**
д.т.н., профессор
***А.Т. Ескара*[1]**
магистрант кафедры НТМ
***Т.Е. Слушашов*[2]**
студент 2 курса кафедры КИИБ
[1]*Карагандинский государственный технический университет*
[2]*Международный университет информационных технологий*

АННОТАЦИЯ

В данной статье показано составление плана многофакторного эксперимента по взаимосогласованному воздействию факторов измельчения и флотации медносульфидных руд и проведение экспериментов. Проведена оценка воспроизводимости результатов измельчения руды в лабораторной шаровой мельнице и с помощью критерия Кохрена определена ошибка эксперимента с доверительным интервалом, не превышающем 5%, что является приемлемым для технологических процессов.

Ключевые слова: измельчение, флотация, медносульфидные руды, математическое планирование, метод Зейделя-Гауса

Введение

Задача отображения совместного воздействия факторов измельчения и флотации является актуальной в связи с тем, что эти процессы осуществляются в непрерывном технологическом потоке и изменение режима измельчения сразу же вызывает перемены фракционного состава как в отношении содержания целевого продукта для флотации – класса –0,071 мм, так и выхода шламистой фракции размером 5-10 микрон, ухудшающей этот процесс.

В свою очередь, флотационный процесс благодаря возможности управления им с помощью собственных факторов позволяет подстраиваться под те или иные изменения фракционного состава и тем самым выявлять не какое-то единственно возможное наилучшее извлечение целевого компонента в концентрат, а целые области оптимальных режимов с комбинацией факторов измельчения и флотации для обеспечения извлечения не ниже заданного уровня, например, 90%.

Теоретическая часть

В принципе, эту задачу можно решить практически любым из известных методов математического планирования эксперимента с получением единой многофакторной модели. Исходя из специфики поставленной задачи эта модель должна обеспечивать получение расчетного значения по извлечению меди во флотационный концентрат не более 100%, а также не в виде отрицательной величины, то есть получения неабсурдных результатов при любой вариации режимных параметров, входящих в обобщенную математическую модель.

Этим условиям в наибольшей мере отвечают вероятностно-детерминированные методы математического планирования эксперимента, в которых предусмотрена возможность учета физического и математического смысла при описании как частных, так и обобщенных зависимостей [1-5]. Среди них наибольшее распространение получил метод, основанный на использовании матриц идеального (наиболее экономного) хаоса в комбинации факторов и их уровней с дальнейшей обработкой результатов на частные зависимости, их математическим описанием с учетом физического смысла и окончательным объединением в виде уравнения Протодьяконова, то есть в виде нормированного произведения частных функций.

Эта процедура предлагалась взамен традиционного последовательного изучения частных зависимостей по методу Зейделя-Гаусса с постепенным выходом на наилучший результат, но без единого математического представления многофакторной функции.

Этот недостаток был преодолен путем нормировки смежных частных функций по их общему значению с обобщением на многофакторную зависимость типа уравнения Протодьяконова [2-4].

С целью более равномерного отображения обобщенной функции во всем многофакторном пространстве в реальных пределах изменения и воздействия каждого фактора дальнейшая адаптация метода Зейделя-Гаусса выразилась в такой организации эксперимента, когда нормировка частных зависимостей проводится по результатам центрального эксперимента $y_ц$, которые входят в каждую частную зависимость $y_i = f_i(x_i)$:

$$y = y_ц \frac{y_1}{y_ц} \cdot \frac{y_2}{y_ц} \cdot \frac{y_3}{y_ц} \dots \frac{y_n}{y_ц} = \frac{\prod_{i=1}^{n} y_i}{y_ц^{n-1}}. \quad (1)$$

В этом случае общее число опытов сокращается на число факторов минус единица.

После получения данного уравнения и использования известных процедур его ограничения [6, 7] оно может быть применено для построения многофакторных намограмм-матриц с выделением областей допустимых и недопустимых сочетаний уровней факторов, а тем самым и для управления процессом [8].

Соответствующий план и результаты эксперимента применительно к задаче данного раздела приведены в таблице 1.

Опыты проводили на медносульфидной руде Саякского месторождения с содержанием меди 0,63%. Флотацию измельченной руды проводили на лабораторной флотомашине 237ФЛ-Д.00.000.РЭ, частота вращения импеллера 900-3400 об/мин.

Таблица 1

План и результаты эксперимента по воздействию факторов измельчения и флотации на содержание и извлечение меди из руды в концентрат. Выделены данные для центрального опыта и для информационного оптимума

Факторы	Уровень фактора	Извлечение меди в концентрат, ε		Содержание меди в концентрате, α		Информационный критерий операции αε, д.е.
		%	д.е.	%	д.е.	
1	2	3	4	5	6	7
Продолжительность измельчения, $\tau_и$, мин, при К = 120 г/т, В = 40 г/т, $\tau_ф$ = 6 мин	10	66,18	0,6618	17,30	0,1730	0,1145
	15	73,13	0,7313	16,83	0,1683	0,1231
	20	78,31	0,7831	12,84	0,1284	0,1011
	25	78,33	0,7833	9,39	0,939	0,0736
	30	75,41	0,7541	14,34	0,1434	0,1081
Расход ксантогената, К, г/т, при $\tau_и$ = 20 мин, В = 40 г/т, $\tau_ф$ = 6 мин	40	71,64	0,7164	13,38	0,1338	0,0960
	80	77,05	0,7705	13,45	0,1345	0,1036
	120	78,31	0,7831	12,84	0,1284	0,1006
	160	81,82	0,8182	10,02	0,1002	0,0820
	200	86,67	0,8667	8,48	0,848	0,0735
Расход вспенивателя, В, г/т, при $\tau_и$ = 20 мин, К = 120 г/т, $\tau_ф$ = 6 мин	20	76,81	0,7681	12,47	0,1247	0,0990
	30	79,69	0,7969	12,42	0,1242	0,0990
	40	78,31	0,7831	12,84	0,1284	0,1006
	50	72,73	0,7273	14,23	0,1423	0,1035
	60	77,42	0,7742	12,72	0,1272	0,0985
Продолжительность флотации, $\tau_ф$, мин, при $\tau_и$ = 20 мин, В = 40 г/т, К = 120 г/т	4	71,88	0,7188	13,25	0,1325	0,0952
	5	75,41	0,7541	10,10	0,1010	0,0762
	6	78,31	0,7831	12,84	0,1284	0,1006
	7	90,16	0,9016	12,08	0,1208	0,1089
	8	89,39	0,8939	13,47	0,1347	0,1204

Экспериментальная часть

Для проведения опытов первоначально проводили измельчение руды при указанных в таблице 1 продолжительностях процесса с определением фракционного состава измельченного материала. По этим данным осуществляли адаптацию вероятностной модели измельчения с определением по выходу верхнего класса экспериментального значения энергии активации разрушения зерен E_a и по суммарному выходу нижнего класса –0,071 мм – параметра модели j^x. Это позволило уже расчетным путем находить содержание шламистой фракции –5 мкм и оценить ее влияние на результаты флотации.

В любом случае важно оценивать воспроизводимость результатов эксперимента для того, чтобы определять адекватность описывающих эти эксперименты аппроксимирующих или фундаментальных зависимостей.

Воспроизводимость результатов эксперимента оценивали по критерию Кохрена (или Гохрена) [9]

$$G = \frac{S^2_{u\,max}}{\sum_{u=1}^{n} S^2_u} \leq G(0{,}05; f_n; f_u), \qquad (2)$$

где $G(0{,}05; f_n; f_u)$ - нормативное значение критерия (определяется по статистическим таблицам) при 5% уровне значимости (или 95% уровне достоверности) для $f_n = n$ – числа независимых оценок результата (при разных условиях эксперимента) и f – числа степеней свободы каждой оценки, равного m – 1 при m параллельных опытов в независимых оценках; $S^2_{u\,max}$ - наибольшая дисперсия среди независимых оценок S^2_u. Она определяется по формуле

$$S^2_u = \frac{\sum_{p=1}^{m}(y_{u_p} - \bar{y}_u)^2}{m-1}, \qquad (3)$$

в которой u – индекс независимого опыта; p – номер параллельного (повторного) опыта; y_{u_p} – результат p-го параллельного опыта; $\bar{y}_u$ - среднее арифметическое всех параллельных результатов.

Результаты параллельных и независимых опытов по выходу целевого класса –0,071 мм при измельчении в лабораторной мельнице с различной продолжительностью процесса приведены в таблице 2.

Таблица 2

Выход класса –0,071 мм при различной продолжительности измельчения

Продолжительность, мин	u	y_{u_1}, %	y_{u_2}, %	y_{u_3}, %	$\bar{y}_u$
10	1	62,93	59,72	58,95	60,53
15	2	80,66	78,29	74,41	77,79
20	3	89,77	90,10	90,33	90,07
30	4	98,13	85,87	97,44	93,81

Обработка данных таблицы 2 дает следующие результаты для независимых экспериментов:

$$S_1^2 = \frac{(62{,}93 - 60{,}53)^2 + (59{,}72 - 60{,}53)^2 + (58{,}95 - 60{,}53)^2}{3 - 1} = 4{,}456,$$

$$S_2^2 = \frac{(80{,}66 - 77{,}79)^2 + (78{,}29 - 77{,}79)^2 + (74{,}41 - 77{,}79)^2}{3 - 1} = 9{,}956,$$

$$S_3^2 = \frac{(89{,}77 - 90{,}07)^2 + (90{,}10 - 90{,}07)^2 + (90{,}33 - 90{,}07)^2}{3 - 1} = 7{,}925 \cdot 10^{-2},$$

$$S_4^2 = \frac{(98{,}13 - 93{,}81)^2 + (85{,}87 - 93{,}81)^2 + (97{,}44 - 93{,}81)^2}{3 - 1} = 47{,}44.$$

$$G = \frac{47{,}44}{4{,}456 + 9{,}956 + 7{,}925 \cdot 10^{-2} + 47{,}44} = 0{,}7661.$$

По статистическим таблицам находим значение $G_{(0,05;4;2)} = 0{,}7679$.
Отсюда следует

$$G = 0{,}7661 < G_{(0,05;4;2)} = 0{,}7679.$$

Неравенство соблюдается, эксперимент воспроизводи́м.
Дисперсия воспроизводимости согласно формуле [7]

$$S_y^2 = \frac{\sum_{u=1}^{n} S_u^2}{n} \quad (4)$$

равна $S_y^2 = 61{,}925/4 = 15{,}48$, откуда находим ошибку эксперимента

$$S_y = \pm\sqrt{S_y^2} \quad (5)$$

равной $S_y = \pm\sqrt{15{,}48} = \pm 3{,}93\%$.
Доверительный интервал для 5% значимости статистических данных находится по формуле [8]

$$\delta = \pm\frac{t_{(0,05;f_y)} S_y}{\sqrt{n}}, \quad (6)$$

где $t_{(0,05;f_y)}$ - коэффициент Стьюдента (находится по статистическим таблицам) для $f_y = f_n f_u = n(m - 1)$ – числа степеней свободы дисперсии воспроизводимости. Табличное значение $t_{(0,05;8)} = 2{,}31$. С учетом полученных данных находим доверительный интервал в опытах по измельчению

$$\delta = \frac{2{,}31 \cdot 3{,}93}{\sqrt{4}} = \pm 4{,}54\%.$$

Такая точность экспериментальных данных вполне приемлема для технологических исследований [8] и будет использована для оценки адекватности аппроксимирующих зависимостей, получаемых при обработке результатов многофакторного эксперимента. Воспроизводимость результатов по флотации обычно находится на таком же уровне.

Что касается информационного оптимума αε, приведенного в таблице 1, то согласно энтропийно-

информационного анализа технологических схем [10, 11], он отображает степень сбалансированности противодействующих показателей содержания и извлечения целевого компонента (в данном случае меди), и его наибольшее значение соответствует наилучшему сочетанию этих показателей.

Заключение

Составлен план многофакторного эксперимента по взаимосогласованному воздействию факторов измельчения и флотации медносульфидных руд и проведены соответствующие опыты. В качестве метода математического планирования эксперимента выбран метод последовательного изучения факторов по Зейделю-Гаусу в новом варианте его дополнения условиями центрального эксперимента с обобщением частных зависимостей путем их нормировки по результатам центрального эксперимента.

Проведена оценка воспроизводимости результатов измельчения руды в лабораторной шаровой мельнице и с помощью критерия Кохрена определена ошибка эксперимента с доверительным интервалом, не превышающем 5%, что является приемлемым для технологических процессов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Малышев В.П. Математическое планирование металлургического и химического эксперимента. – Алма-Ата: Наука КазССР, 1977. – 37 с.

2 Малышев В.П. Вероятностно-детерминированное планирование эксперимента. – Алма-Ата: Наука КазССР, 1981. – 116 с.

3 Малышев В.П. Вероятностно-детерминированное отображение. – Алматы: Ғылым, 1994. – 376 с.

4 Малышев В.П. Математическое описание результатов многофакторного эксперимента, проведенного по методу Зейделя-Гаусса // Вестник АН КазССР. – 1978. - №4. – С. 31-38.

5 Малышев В.П. Особенности экстраполяции и ограничения уравнения Протодьяконова // Вестник Ан КазССР. – 1982. - №2. – С. 42-46.

6Агеев Н.Г. Моделирование процессов и объектов в металлургии: учебное пособие. – Екатеринбург: Издательство Уральского университета, 2016. – 108 с.

7Юдин Ю.В., Майсурадзе М.В., Водолазский Ф.В. Организация и математическое планирование эксперимента. – Екатеринбург: Издательство Уральского университета, 2018.

8 Малышев В.П. Кинетический и технологический анализ многофакторных математических моделей химико-металлургических процессов // КИМС. – 2008. - №5. – с. 66-82.

9 Винарский М.С., Лурье М.В. Планирование эксперимента в технологических исследованиях. – Киев: Наукова думка, 1975. – 168 с.

10 Малышев В. П., Турдукожаева А.М., Кажикенова С.Ш. Обоснование информационной оценки качества технологических переделов и продуктов // Доклады НАН РК. – 2008. – № 6. – С. 62-65.

11 Malyshev V.P., Kazhikenova S.Sh., Turdukozhaeva A.M. A Qualitative and Quantitative Evaluation of the Technological processes in the metallurgy of non-ferrous metals // Russian Journal of Non-Ferrous Metals. – 2009. – Vol. 50. – № 4. – P. 335-337.

УДК 004.02

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ К МАТРИЧНОМУ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОМУ УРАВНЕНИЮ РИККАТИ

Зейналов ДЖ.И.
доктор комрютерных наук,
профессор кафедры информационные технологии
Нахичеванский Государственный Университет
Маммадов Р.Т.
докторант кафедры информационные технологии
Нахичеванский Государственный Университет

APPLICATION OF NEURAL NETWORKS TO THE RICCATI MATRIX DIFFERENTIAL EQUATION

Zeynalov J. I.
Doctor of Computer Science, Professor,
Department of Information Technology
Nakhchivan State University
Mammadov R.T.
doctoral student of the department of information technology
Nakhchivan State University

АННОТАЦИЯ

Известны разные методы и пакет программы для решения уравнения Риккати. Однако в разных случаях, например, когда исходные матрицы уравнения имеют большие размерности, решение уравнения известными методами дает серьезные погрешности. Учитывая это и конкретно определенный вид уравнения Риккати удобно решать это уравнение с помощью нейронной сети.

SUMMARY

Various methods and a software package for solving the Riccati equation are known. However, in different cases, for example, when the original matrices of the equation have large dimensions, the solution of the equation by known methods gives serious errors. Given this and a specific form of the Riccati equation, it is convenient to solve this equation using a neural network.

Ключевые слова: дифференциальных уравнений, нейронных сетей, оптимального синтеза, оптимальное управление, нейросетевая технология.

Key words: differential equations, neural networks, optimal synthesis, optimal control, neural network technology.

1.Введение

Пусть движение объекта описывается системой дифференциальных уравнений

$$\dot{x}(t) = A(t)x(t) + B(t)u(t), \qquad 0 < t \le T, \tag{1}$$

с начальным условием

$$x(0) = x_0. \tag{2}$$

Требуется найти такой регулятор цепи обратной связи $u(t) = K(t)x(t)$, который минимизировал бы функционал

$$J = \int_0^T \left[x'(t) \circ L(t)x(t) + u'(t) \circ I(t)u(t)\right]dt + x'(T) \circ Qx(T), \tag{3}$$

$$\dot{x}(t) = A(t)x(t) + B(t)u(t), \qquad 0 < t \le T, \tag{4}$$

$$x(0) = x_0. \tag{5}$$

Здесь $x(t) - n -$мерный вектор фазовых координат объекта, $u(t) - m -$мерный вектор управляющих воздействий,

$$x(t) = \begin{pmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \\ . \\ . \\ x_n(t) \end{pmatrix}, \qquad u(t) = \begin{pmatrix} u_1(t) \\ u_2(t) \\ . \\ . \\ u_m(t) \end{pmatrix}$$

$A(t) - \ n \times n, \ \ B(t) - \ n \times m, \ \ L(t) = L'(t) \ge 0 \ \ n \times n$ - мерные матриц- функции. $I(t)$ $m \times m -$ мерная единичная матрица.

Показано, что оптимальное управление для этой задачи определяется формулой

$$u(t) = -B'(t)S(t)x(t), \tag{6}$$

т.е. $K(t) = -B'(t)S(t)$. Здесь $S = S(t)$ является решением матричного дифференциального уравнения Риккати

$$\dot{S}(t) = -A^T(t)S(t) - S(t)A(t) + S(t)B(t)B^T(t)S(t) - L(t), \quad (7)$$

с условием

$$S(T) = Q. \quad (8)$$

Также показано, что если

$$B'(t)S(t) = F(t) - G(t), \quad (9)$$

где элементы матрицы $F(t), G(t)$ положительные, то компоненты управления $u_i(t) = (u_i^{(1)}(t), u_i^{(2)}(t)) \in F \times F,\ i = 1,2,...,m,$ определяются формулой

$$U_i^{(1)}(t) = G(t)x_i^{(1)}(t) + F(t)x_i^{(2)}(t),$$

$$u_i^{(2)}(t) = G(t)x_i^{(2)}(t) + F(t)x_i^{(1)}(t),\ i = 1,2,...,m.$$

где

$$x_i(t) = (x_i^{(1)}(t), x_i^{(2)}(t)) \in F \times F,\ i = 1,2,...,m\ .$$

2. Постановка задачи и основные результаты

Формула (6) показывает, что решение задачи оптимального синтеза (3)-(5) зависит от решения матричного дифференциального уравнения Риккати (7). Поэтому представляет интерес нахождение уравнения Риккати.

Известно, что матричное дифференциальное уравнение Риккати не всегда удается решать квадратурой. Известны разные методы [1-4] и пакет программы для решения уравнения Риккати. Однако в разных случаях, например, когда исходные матрицы уравнения имеют большие размерности, решение уравнения известными методами дает серьезные погрешности.

Учитывая это и конкретно определенный вид уравнения Риккати удобно решать это уравнение с помощью нейронной сети.

В настоящее время нейросетевая технология является одной из наиболее динамично развивающихся областей искусственного интеллекта. Она успешно применяется в различных областях науки и техники, таких, как распознавание образов, в системах диагностики сложных технических объектов, экологии, разных задачах, связанных с прогнозированием и т.д.

Эффективность применения нейронных сетей для решения дифференциальных уравнений основана на двух свойствах. Первым свойством является совпадение логического базиса нейронной сети с логическим базисом численных методов решения дифференциальных уравнений, что позволяет структурно реализовать решения дифференциальных уравнений. Наиболее полно исследовано в этом направлении применение клеточных нейронных сетей [5-7]. Вторым свойством является способность нейронной сети хорошо аппроксимировать функции.

Для решения уравнений наиболее удачно подходят сети, принадлежащие к классу нейронных сетей Хопфилда . Более актуальная для практики проблема заключается в большой ресурсоёмкости алгоритмов обучения нейронных сетей и большом времени обучения соответственно. Однако, также важно найти входные и выходные данные для обучения. Наша цель здесь дать схему применения нейронной сети к решению уравнения Риккати.

Исходные данные для уравнения (4) являются матриц - функции $A(t), B(t), L(t)$ и Q. Эти данные мы бдем принимать как исходные данные. Для разных входных данных $A(t), B(t), L(t)$ и Q мы должны решать задачи (7), (8) и найти выходные данные. Используя эти данные в процессе обучения построим нейронную сеть. Потом, задавая нужные нам выходные данные на нейронную сеть, получим приближенные решения задачи (7), (8). Возникает вопрос: как найти выходные данные - решения задачи (7), (8) для разных входных данных? Если с этой целью обратимся к известным методам, тогда наша нейронная сеть не будет надежной, так как эти методы в некоторых случаях дают решение с большими погрешностями.

Для нахождения выходных данных применяем следующий подход.

Возьмем разные $n \times n$-мерные матриц-функции $S_1(t), S_2(t), ..., S_N(t)$, $n \times n$ и $n \times m$-мерные матриц-функции $A_1(t), A_2(t), ..., A_N(t)$ и $B_1(t), B_2(t), ..., B_N(t)$. Матрицы $L_1(t), L_2(t), ..., L_N(t)$ и $Q_1, Q_2, ..., O_N$ определяем следующим образом

$$L_k(t) = -A_k^T(t)S_k(t) - S_k(t)A_k(t) + S_k(t)B_k(t)B_k^T(t)S_k(t) - \dot{S}_k(t), \quad k = \overline{1, N},$$

$$Q_k = S_k(T), \quad k = \overline{1, N}.$$

Очевидно, что если мы возьмем

$$A(t) = A_k(t), \; B(t) = B_k(t),$$

$$L(t) = L_k(t), \quad Q = Q_k$$

то решением задачи (7), (8) будут матриц -функции $S_k(t), k = \overline{1, N}$. Таким образом, если мы возьмем

$$A_1(t), A_2(t), ..., A_N(t)$$

$$B_1(t), B_2(t), ..., B_N(t),$$

$$L_1(t), L_2(t), ..., L_N(t),$$

$$Q_1, Q_2, ..., O_N,$$

как входные данные, то получим выходные данные

$$S_1(t), S_2(t), ..., S_N(t),$$

как при решении задачи (7), (8). Используя эти данные проводим процесс обучения нейронной сети. После построения нейронной сети можно решать задачи (7), (8) с любыми исходными данными. Качество решений и надежность нейронной сети зависит от качества, выбора и количества N исходных данных. Для того, чтобы видеть это, рассмотрим простой пример.

Пример . Пусть трубуется решить одномерное уравнение Риккати

$$\dot{x}(t) = x^2(t) + 3t^2 - t^6, \quad 0 < t \le 1,$$

с условием $x(1) = 1$. Ясно, что решением этой задачи является функция $x(t) = t^3$.

Для решения этот отрезок $[0,1]$ разделим на 6 частей с шагом $h = 0.2$ и применим предложенное выше схему.

Возьмем трехслойную нейронную сеть для решения этой задачи (рис.1)

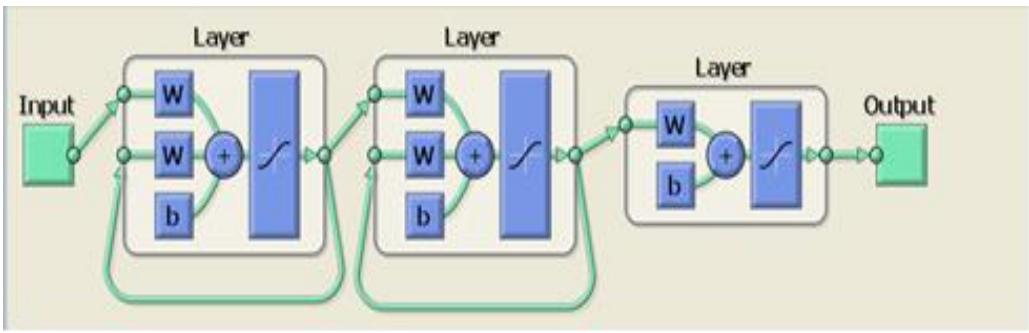

Рис. 1.

При применении этой нейронной сети отклонение решений указана графически для примера (рис.2)

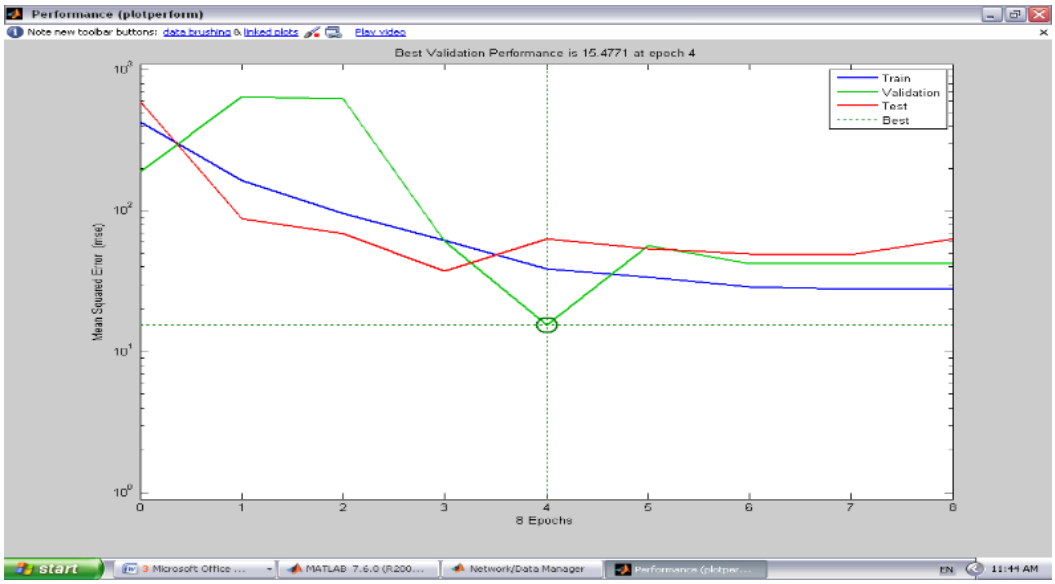

Рис. 2.

Отклонение решений указано поточечно (рис. 3).

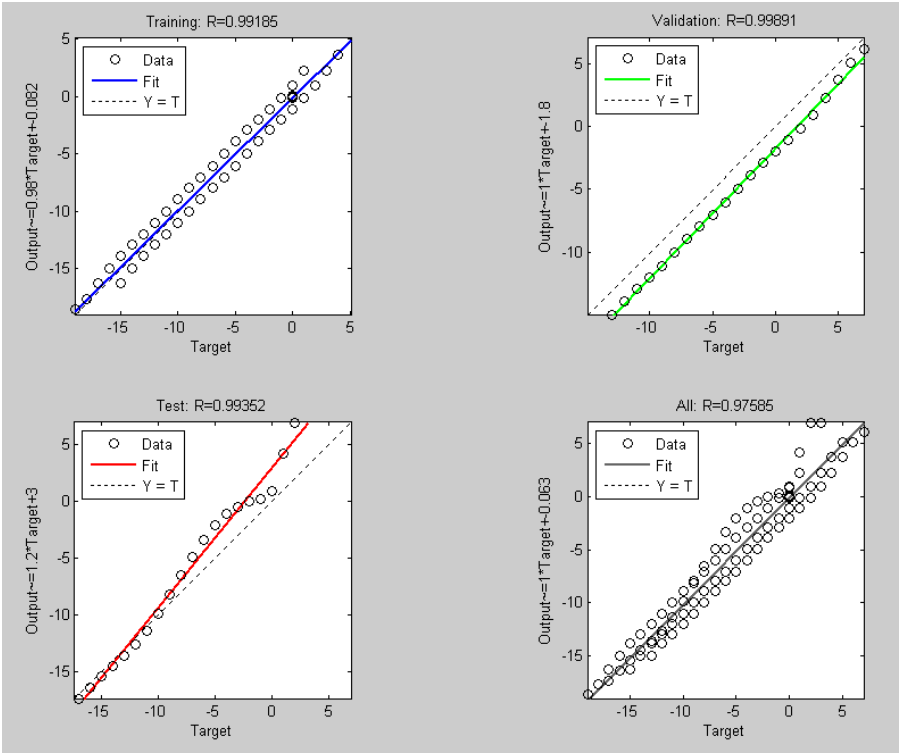

Рис. 3.

Выводы.

В результате получено решение, кторое достаточно близко к точному решению.

x=0 0.008000000000000000.0640000000000000

0.2160000000000000.512000000000000

Л И Т Е Р А Т У Р А

1.Aliev F.A., Larin V.B., Optimization of Linear Control System. London: Gordon and Breach, 1998, 270 p.

2.Алиев Ф.А., Нифтиев А.А.,. Зейналов Дж.И.,Задача оптимального синтеза относительно эволюции области . Проблемы управления и информатики 2013. №1 с. 50-55

3.Aliev F.A., Valieva N.I., Safarova N.A., Niftili A.A., Methods for solving of stabilization problem of the discrete periodic system with respect to output variable. Applied and Computational Mathematics, 2007, v. 6, № 1, 27-38.

4.Алиев Ф.А., Сафарова Н.А., Обратная задача для дискретных оптимальных периодических систем управлений // Проблемы Управления и Информатики, 2000, №2, с. 64-71.

5. Lagaris I.E., Likas A.C., Fotiadis D.I., Artificial neural networks for solving ordinary and partial differential equations // IEEE Transactions on Neural Networks. – 1998. – Vol. 9, № 5. – P. 987-1000.

6. Levin A. U., Narendra K.S.: Control of Nonlinear Dynamical Systems Using Neural Networks: Controllability and Stabilization. IEEE Transactions on Neural Networks, 1993, Vol. 4, pp.192-206.

7. Lee H., Kang I.S., Neural algorithm for solving differential equations. Journal of Computational Physics. – 1990. – Vol. 91, № 1. – P. 110-131.

УДК 666.189.32

ИССЛЕДОВАНИЯ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ИЗВЕСТНЯКА МЕСТОРОЖДЕНИЯ «САРЫКУМ» КАК ВСПЕНИВАТЕЛЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПЕНОСИЛИКАТНОГО МАТЕРИАЛА

Казаченко С., Нарембекова А.К.

Карагандинский государственный технический университет, г. Караганда

С развитием современного общественного и частного строительства актуальными становятся вопросы разработки высокоэффективных теплоизоляционных материалов и прогрессивных изоляционных конструкций, способных выдерживать достаточные нагрузки в сооружениях. В данном аспекте актуальной является проблема выбора наиболее рациональных технологических решений, а также совершенствования и подбора принципиально новой сырьевой базы для разработки таких материалов. Одним из таких материалов является пеностекло, которое наряду с высокими физико-химическими свойствами, обладает влагонепроницаемостью, высокой механической прочностью, негорючее и удовлетворяет высоким санитарно-техническим нормам, так как оно биологически стойко – не гниет и не плесневеет. Механическая прочность пеностекла определяет возможности применения его в широком спектре монтажных работ. Крупноразмерные конструкции из пеностекла могут быть использованы для монтажа объектов строительства в крупнопанельном и объемном домостроении. Влагонепроницаемость обеспечивает постоянство значений теплопроводности, что является решающим фактором в использовании пеностекла для тепловой изоляции. Технологические разработки в области получения пеностекла позволяют создавать продукцию высокого качества, которая будет конкурентоспособна и востребована на рынке сбыта. Большую часть всего процесса составляет подбор оптимальных сырьевых компонентов, как на основе традиционного сырья, так и техногенного. Так в качестве газообразователя традиционно применяются углеродистые компоненты, такие, как кокс, различные виды активной сажи, карбид кремния, а так же используются карбонаты, в частности известняк. Технология получения пеностекла по порошковому методу общепризнанно считается оптимальной и повсеместно распространена в промышленных масштабах.

Способ производства пеносиликатного материала или пеностекла в данной работе заключается в использовании стелобоя в смеси с гидроксидом натрия. Получение пеностекла проводили по так называемому гидратному вспениванию [1,2]. Суть этого метода заключается в смешении аморфного оксида кремния, содержащегося в стекле со щелочью с образованием щелочных гидросиликатов. В процессе обработки стела гидроксидом натрия в присутствии воды протекает реакция:

$$mSiO_2 + 2nNaOH + (p\text{-}n)H_2O \rightarrow nNaOH{\cdot}mSiO_2{\cdot}pH_2O$$

Помимо кремнеземсодержащих компонентов используются также вспомогательные материалы, которые вводятся для корректировки состава шихты и придания необходимых свойств материалу. Таким образом, целью данного исследования является исследование возможности

использования известняка как дополнительной добавки, вводимой для увеличения пористости получаемого пеностекольного материала.

В качестве кремнесодержащего материала для исследования взяли обломки оконного стекла. Химический состав оконного стекла имеет следующую формулу: $Na_2O \cdot CaO \cdot 6SiO_2$

Таблица 1

Химический состав стекла

материал	Na_2O	CaO	$6SiO_2$
стекло	12,9	11,6	75,5

В качестве порообразователя применяли гидроксид натрия. Для газообразования применяли известняк месторождения «Сарыкум».

Методика подготовки известняка включает в себя операции дробления руды и последующего ее мокрого измельчения. В процессе измельчения определялась кинетика измельчения руды, т.е. зависимость выхода мелкого класса (менее 0,074 мм) от продолжительности измельчения. Выделяемая после измельчения пульпа направлялась затем на получение пеностекла.

Поступившая проба известняка весом 8238,7 г подвергалась ситовому анализу с целью определения гранулометрического состава.

Результаты анализа представлены в таблице 2.

Таблица 2

Гранулометрический состав известняковой руды

Класс крупности, мм	Масса, г	%
-40+20	2756,11	33,45
-20+10	2869,82	34,83
-10+7	768,14	9,32
-7+5	470,11	5,71
-5+3	462,36	5,61
-3+1,6	248,50	3,02
-1,6+1	186,82	2,27
-1+0,63	122,17	1,48
-0,63+0,315	196,44	2,38
-0,315+0,16	75,62	0,92
-0,16+0,1	34,77	0,42
-0,1+0,074	6,59	0,08
-0,074	41,25	0,51
Всего	8238,7	100

Из результатов опытов по измельчению известняковой руды следует, что с увеличением класса крупности руды выход мелкого класса (-0,074 мм) при одинаковой продолжительности измельчения уменьшается. Зависимость выхода мелкого класса от крупности загружаемой в мельницу руды при продолжительности измельчения 10 мин показана на рисунке 1.

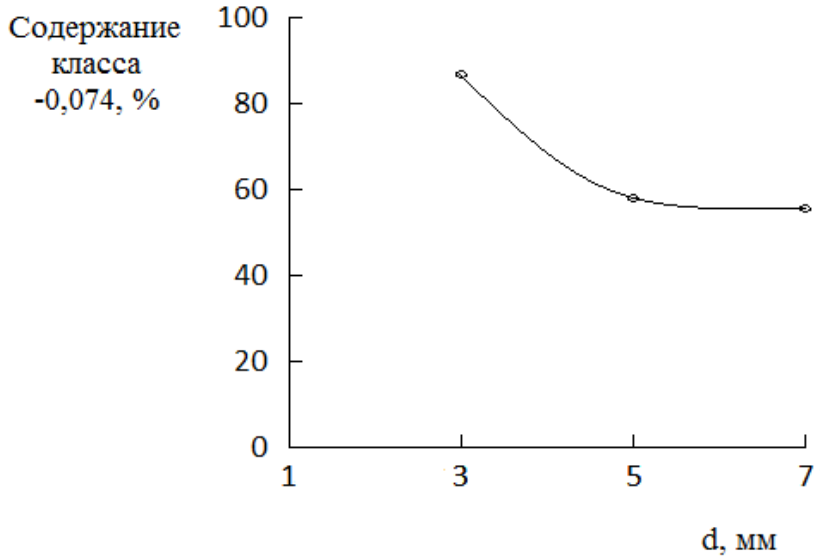

Рисунок 1 – Зависимость выхода класса (-0,074 мм) от крупности загружаемой в мельницу известняковой руды при мокром измельчении в течение 10 минут

Предварительными исследованиями установлено, что для использования известняка в качестве вспенивателя содержание класса крупности (- 0,074 мм) руды в пульпе после измельчения должно быть не менее 80 %. Условия измельчения известняковой руды, обеспечивающие требуемое содержание класса крупности (- 0,074 мм), представлены в таблице 3.

Таблица 3

Оптимальные условия мокрого измельчения известняковой руды в лабораторной стержневой мельнице

Крупность загружаемой руды, мм	Соотношение руда:вода в мельнице	Продолжительность измельчения, мин
-3	100 г руды : 150 мл воды	не менее 10
-5	100 г руды : 150 мл воды	не менее 15
-7	100 г руды : 150 мл воды	не менее 20

Соблюдение условий, указанных в таблице 3, обеспечивает получение пульпы, пригодной для последующих исследований.

Производство пеностекла проводилось по стандартной порошковой технологии [3]. Данный способ позволяет получать пористую структуру с равномерным распределением пор различных размеров. Шихта изготавливалась путем тщательного перемешивания всех компонентов в точно указанных пропорциях до однородной массы. Следует отметить, что добавление к порошку битого стекла щелочного компонента осуществлялось в виде водного раствора. Для лучшего взаимодействия NaOH с битым стеклом в шихту вводилась вода в количестве 15% (по массе) сверх 100. Полученную исходную смесь перемешивали до получения гомогенной массы, которую выдерживали в сушильном шкафу при температуре 50°С в течение 2 ч до завершения реакций силикатообразования с получением силикатной массы.

Из приготовленной шихты формовались образцы в виде кубов с длиной грани 10 мм и массой 5 г.

После охлаждения печи до комнатной температуры образцы подвергались механической обработке для придания правильной формы. Далее были определены масса и объем, кажущаяся плотность и общая пористость по формулам, приведенных в работе [4].

Для увеличения пористости пеноматериала был разработан ряд составов, приведенный в таблице 4.

Таблица 4

Шихтовые составы с известняком

материал	Номер состава шихты			
	1	2	3	4
порошок битого стекла	40	40	40	40
гидроксид натрия	10	10	10	10
известняк	-	1	3	5

Вспенивание образцов проводилось при температурах вспенивания 800, 900°С.

Результаты по плотности и пористости полученных образцов представлены в таблице 5,6

Таблица 5

Плотность полученных пеноматериалов

Температура вспенивания	Плотность, кг/м^3			
	1	2	3	4
800	490	375	630	610
900	369	364	442	393

Таблица 6

Пористость полученных пеноматериалов

Температура вспенивания	Плотность, %			
	1	2	3	4
800	79	79	70	69
900	84	79	79	70

Результаты термической обработки показали, что при добавлении 1 % (по массе) известняка в шихту можно получить пеностекло с плотностью около 370-400 кг/м^3 при температурах 800 – 900°С, при этом образцы характеризуются высоким показателем пористости (до 84 %). С повышением содержания мела до 3 и 5 % (по массе) (состав 3 – 4), при температуре 800°С порообразование заметно ухудшается, что можно увидеть по снижению пористости (до 70 %), а плотность

увеличивается до 630 кг/м^3 , повышение температуры в этих составах приводит к снижению плотности до 450 кг/м^3 и увеличению пористости до 78 %. Очевидно, это связано с взаимодействием известняка со щелочью, что и приводит к снижению активности вспенивания.

Изготовление пеностекла по гидратному механизму, где в качестве основного сырьевого материала применялось битое стело в смеси с гидроксидом натрия, с целью увеличения пористости вводился карбонатный порообразователь – известняк. Однако использование этой добавки оказалось нерационально, так как готовые образцы получались недостаточно пористыми из-за того, что происходила химическая реакция известняка с гидроксидом натрия, в результате которой замедлял процесс газовыделения.

Список использованной литературы

1. Сеник Н.А. Составы и технология получения гранулированного пеностеклокристаллического материала на основе композиций диатомита с гидроксидом натрия: дис…. канд. техн. наук. Томск, 2013.

2. Маневич В.Е., Никифоров Е.А., Мешков А.В. [и др.]. Высокоэффективный теплоизоляционный материал на основе диатомового сырья // Строительные материалы. 2012. № 11. С. 18 – 22

3 Особенности синтеза пеностекла на основе диатомитового сырья / Б.М. Гольцман, Е.А. Яценко, В.С. Геращенко, Н.Ю. Комунжиева // Экология промышленного производства. 2018. № 4. С. 23 – 25.

4. Гольцман Б.М., Геращенко В.С., Комунжиева Н.Ю., Яценко Л.А. Исследование возможности использования мела как интенсификатора вспенивания при синтезе пеностекольных материалов// Известия вузов. 2019. № 3. С.82-86

ВРЕДОНОСНЫЕ ПРОГРАММЫ КАК ОПАСНОСТЬ ОВД.

DOI: 10.31618/ESU.2413-9335.2020.1.72.619

Смирнов Виталий Михайлович,
к.т.н
Московский университет МВД России им. В.Я. Кикотя
Киселёв Сергей Александрович
Московский университет МВД России им. В.Я. Кикотя

АННОТАЦИЯ
В статье раскрываются основные виды вредоносных ПО и методы борьбы с ними.
ANNOTATION
The article describes the main types of malware and methods for dealing with them.
Ключевые слова*:* Компьютер, программа, нарушение, вирус, Программное Обеспечение, вред.
Keywords: computer, program, violation, virus, software, harm.

Ни для кого не секрет, что в наше время, пожалуй, большинство пользователей ощущали на себе всю отрицательную сторону развития информационных технологий, конкретно – вредоносных программ. Сейчас, когда большая часть информации хранится на электронных носителях, особенно важно повышать уровень безопасности и сохранности этой информации от влияния всевозможных угроз. Данное явление не обошло стороной и ОВД, ведь в распоряжении этой системы федеральных органов находятся данные о всех гражданах Российской Федерации и совершённых преступлениях. При завладении такими данными, преступники окажутся на порядок опаснее, чего допустить нельзя.

В сложившихся условиях особую актуальность приобретает вопрос борьбы с вредоносными программами.

Вредоносная программа – это компьютерная программа, предназначенная для причинения ущерба ПК, независимо от вида данной программы.

Идея создания вредоносных ПО возникла в 1946 году. Именно тогда американец Джон фон Нэйманн создал теорию о самовоспроизводящихся программах. Данное исследование явилось отправной точкой в мире компьютерных вирусов. Спустя некоторое время, в 1959 году, его соотечественником, Л.С. Пенроузом была опубликована статья о самовоспроизводящихся механических структурах, в которой речь шла о двухмерных структурах, способных к активации, размножению и захвату.

С тех пор в нашем мире много чего изменилось, появились миллионы новых вредоносных программ, увеличилась и их опасность для общества. В связи с этим, в Уголовный Кодекс Российской Федерации были внесены следующие статьи:

•Статья 272 УК РФ. Неправомерный доступ к компьютерной информации.

Неправомерный доступ к охраняемой законом компьютерной информации, если это деяние повлекло уничтожение, блокирование, модификацию либо копирование компьютерной информации.

•Статья 273 УК РФ. Создание, использование и распространение вредоносных компьютерных программ.

Создание, распространение или использование компьютерных программ либо иной компьютерной информации, заведомо предназначенных для несанкционированного уничтожения, блокирования, модификации, копирования компьютерной информации или нейтрализации средств защиты компьютерной информации.

•Статья 274 УК РФ. Нарушение правил эксплуатации средств хранения, обработки или передачи компьютерной информации и информационно-телекоммуникационных сетей.

Нарушение правил эксплуатации средств хранения, обработки или передачи охраняемой компьютерной информации либо информационно-телекоммуникационных сетей и оконечного оборудования, а также правил доступа к информационно-телекоммуникационным сетям, повлекшее уничтожение, блокирование, модификацию либо копирование компьютерной информации, причинившее крупный ущерб.

Безусловно, как это и говорилось ранее, в наше время существует множество разнообразных вредоносных программ, но их объединяют одинаковые цели:

•Распространение вредоносного ПО

•Нарушение работы ПК

•Сообщение пользователю заведомо ложной информации о своих действиях в системе

•Сокрытие своих действий от антивирусных программ

Также у большинства таких программ действует одинаковая последовательность действий, которая выглядит следующим образом:

1.Заражение ПК

2.Активация вредоносной программы

3.Поиск файлов для заражения вредоносной программой

4.Заражение выбранных файлов вредоносной программой

Такие программы могут нанести существенный вред деятельности ОВД. Они имеют множество разновидностей, основные из них:

•Компьютерные вирусы – вредоносное ПО, способное внедряться в код других программ, повреждать данные пользователя, изменять содержимое файлов и распространяться.

•Сетевые черви – вредоносное ПО, способное к самостоятельному распространению через локальные, либо глобальные (интернет) сети. По функционалу схожи с вирусами. Целью сетевых червей является заражение файлов для дальнейшего распространения на другие компьютеры.

•Троянские программы – вредоносное ПО, способное к выполнению задач, специально определённых правонарушителем, таких как нарушение работы компьютера, кража данных пользователя, удаление данных пользователя и др.

Пути проникновения программ, вызывающих сбои в работе компьютера и причиняющих ущерб пользователю: съёмные диски; флеш-накопители; файлы, загруженные из сети Интернет; электронная почта; пиратское ПО.

Наравне с вредоносными программами развиваются и методы защиты от них. Наиболее эффективным средством борьбы с вирусами принято считать антивирус.

Антивирус – это программа, созданная для борьбы с нежелательными программами, вызывающими нарушения в работе ПК, заражение и повреждение данных пользователя.

В большинстве случаев, в антивирусах заложено два подхода к обнаружению заражённого файла, либо самого вредоносного ПО – сигнатурный и проактивный. Первый из этих способов осуществляет поиск нежелательных программ по характерным для них чертам, путём сравнения известных признаков вируса с признаками, имеющимися у файла. Проактивный метод обнаружения вредоносных ПО заключается в анализе поведения файла при его работе.

Помимо антивирусных программ, также есть такой способ борьбы с вредоносным ПО, как профилактические меры. Они заключаются в регулярной чистке компьютера от неиспользуемых и незнакомых пользователю программ.

Говоря о борьбе с вредоносными программами в ОВД, нельзя не упомянуть тот факт, что сейчас действует программа перехода с операционной системы Windows на российскую Astra Linux. Согласна плану, доля отечественной операционной системы в таких органах государственной власти, как МВД, ФСО, ФСИН и ФСБ в 2020 году должна составлять не менее 80%. Объясняется это тем, что ОС Linux гораздо безопаснее, т.е. имеет значительно меньшее количество нежелательных программ, угрожающих целостности и конфиденциальности данных пользователя.

Таким образом, можно утверждать, что вредоносные программы действительно способны нанести серьёзный ущерб ОВД в виде повреждений данных, похищении важной информации и нарушении работы ПК в целом. Все перечисленные действия направлены на замедление работы правоохранительных органов. Способы борьбы с ними постоянно должны совершенствоваться, чтобы дать достойный отпор преступникам.

Библиографический список:

История возникновения вредоносных ПО – https://studwood.ru/1699944/informatika/istoriya_vozniknoveniya_vredonosnyh

Компьютерные вирусы: Происхождение – https://www.nkj.ru/archive/articles/7889/

Классификация вредоносных программ – https://www.kaspersky.ru/blog/klassifikaciya-vredonosnyx-programm/2200/

Пути проникновения вирусов в компьютер – //vuzlit.ru/1035575/puti_proniknoveniya_virusov_kompyuter_mehanizm_raspredeleniya_virusnyh_programm

Статья «Переход с Windows на Astra Linux» – https://habr.com/ru/news/t/410097/

Уголовный Кодекс Российской Федерации

УДК 504.064.47 691.175
ГРНТИ 87.53.13

К ВОПРОСУ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕСУРСНОГО ПОТЕНЦИАЛА ОТРАБОТАННЫХ КРЕМНИЙСОДЕРЖАЩИХ ПОЛИМЕРОВ

Красновских Марина Павловна
Заведующий лабораторией термических методов анализа,
ассистент кафедры неорганической химии,
химической технологии и техносферной безопасности.
Пермский государственный национальный исследовательский университет,
614990, Пермь, ул. Букирева, 15.

АННОТАЦИЯ

По завершению жизненного цикла все полимерные, как и композиционные материалы на их основе, подлежат утилизации. Глубокое окисление или сжигание отходов полимеров являются на данный момент наиболее широко используемым методом, позволяющим использовать энергетический потенциал отходов. Однако, в случае утилизации полимерных отходов, имеющих в своем составе атомы кремния, становится проблемой образующийся зольный остаток (50 масс.% и более), состоящий из аморфного кремнезема.

Поэтому представляется перспективной разработка альтернативных сжиганию методов утилизации полимеров, основанных на использовании неэнергетического ресурсного потенциала.

В исследовании определено, что при окислении отходов кремнийсодержащих полимерных материалов происходит образование зольного остатка - оксида кремния аморфного строения. Предложено комплексное использование ресурсного потенциала полимерных материалов, содержащих кремний, для извлечения энергетического потенциала от окисления органической составляющей материала и для использования материального потенциала в формате изготовления ячеистого силикатного материала.

Ключевые слова: ресурсный потенциал, силиконовые полимерные материалы, кремний, отходы, вторичное использование, синхронный термический анализ

Увеличение объемов выпуска и потребления полимеров, содержащих в своем составе кремний, неукоснительно ведет как к экологическим, так и экономическим проблемам переработки и утилизации каучуков, резин, герметиков, резинотехнических изделий и других кремнийсодержащих материалов с отработанным ресурсом эксплуатации [1].

Высокая материалоемкость промышленности силиконового каучука, резиновых смесей и эластомерных материалов требует решения проблемы более рационального использования ресурсного потенциала отработанных материалов [2-4]. Основные способы вторичной переработки пластмасс и эластомеров сводятся к сортировке, очистке, измельчению, частичной или полной деструкции отходов.

В работе приводятся результаты и обсуждается пиролиз и окисление полимеров, содержащих в составе атомы кремния. В полимерных материалах кремний может присутствовать в двух различных состояниях – в виде кремнийорганических соединений обычно силоксанового типа или в качестве заполнителя в композиционном полимерном материале в форме диоксида кремния. Во всех случаях при полном окислении материала при горении следует ожидать образование оксида кремния.

Особенностью повторного использования отходов в виде кремнийсодержащих полимеров является применение всего потенциала материала, как органической, так и неорганической части. Органическая часть кремнийсодержащих полимеров может быть использована для получения тепловой энергии методом сжигания.

Выработка энергии является более эффективной в интенсивных методах. Вся органическая часть окисляется в этом процессе. Но энергетический потенциал кремнийсодержащих резин, как потенциал любых других органических отходов, можно разделить. Пиролиз без воздуха приводит к получению летучих органических веществ и угля, которые могут быть отдельно использованы в дальнейшем в качестве топлива. Зольный остаток состоит из аморфного кремнезема, которому также можно найти применение [5].

Термическое поведение образцов, физико-химические превращения анализировались на приборе синхронного термического анализа (одновременная фиксация кривых термогравиметрии (ТГ) и дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК)) Netsch STA449 F1 Jupiter совмещенном с масс-спектрометром QMS 443 Aëolos. Нагревание образцов проводится с постоянной скоростью (20 К/мин) в динамической инертной (аргон) и воздушной атмосфере (40 мл/мин), доступные температурные границы экспериментов 45-1000°С, вакуумирование печи с образцом перед анализом проводилось при необходимости, материал тигля – платина, выполнялась калибровка по реперным веществам, коррекция базовой линии по методике, поставляемой с прибором.

Исследование фазового состава проводилось на рентгеновском дифрактометре Shimadzu XRD-7000, снимки образующегося материала получены на сканирующем электронном микроскопе S-3400 Hitachi.

Результаты синхронного термогравиметрического анализа типичной силиконовой резины представлены на рис. 1.

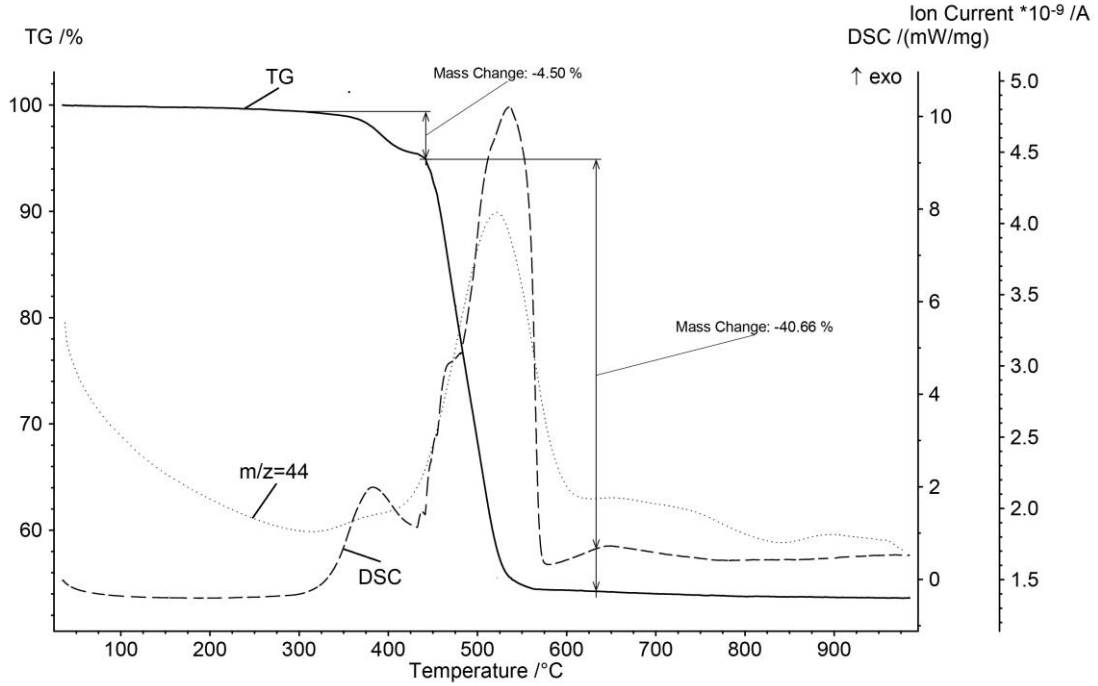

Рисунок 1. Кривые ионного тока m\z = 44 (углекислый газ) и кривая дифференциальной калориметрии DSC, совмещенные с кривой ТГ в атмосфере воздуха

Первый слабый пик на кривой ДСК при 310÷430°С может быть отнесен к окислению водородсодержащих пиролизных газов, что подтверждается пологим участком на кривой ионного тока m/z=44 (углекислого газа) при этом интервале температур. Общая потеря массы исходного полимерного материала составляет 45 масс.%, и образующаяся при окислении энергия составляет 5,2 МДж/кг.

В процессе окисления образуется значительное количество зольного остатка, более 50%. Результаты рентгенофазового анализа подтверждают, что остаток, полученный при горении в обычной атмосфере, представляет собой аморфный кремнезем. Кроме того, горение в богатой кислородом атмосфере приводит к образованию небольшого количества кристобалитовой фазы в образце кремнезема. Этот факт обусловлен высокими температурами горения в случаях высоких концентраций кислорода. Однако, содержание кристобалита слишком мало, и эта кристаллическая фаза не будет мешать дальнейшей переработке аморфного кремнезема.

Количества газов, выделяющихся в процессе формирования стекла из полисиликатов при температурах термопластичности, может быть достаточно для создания ячеистого стекла. Так как синтез стекла из полисиликатной цепи по существу процесс удаления воды, было установлено, что пар будет основным выделяющимся газом в процессе термической обработки щелочно-кремнеземной композиции [6].

Золу от силиконовой резины, содержащую диоксид кремния и углерод, смешивали с раствором гидроксида натрия. При температурах термопластичности стекла пар может активно окислять углерод путем реакции паровой конверсии [7]. Таким образом, присутствие углерода в диоксиде кремния способствует повышению газообразования внутри материала в процессе термической обработки.

Образцы готовили путем смешивания 14,5 М раствора гидроксида натрия и золы отработанных силиконовых резин с добавлением углерода. Подготовленные заготовки нагревали при 780°С в течение одного часа. Для полученных образцов проведена электронная микроскопия с приставкой для рентгенофлюоресцентого анализа (РФлА). Структура образцов представлена на рис. 2. Плотность образцов составляет 210-220 кг/м^3; эффект присутствия кристобалитов в образцах не обнаружен.

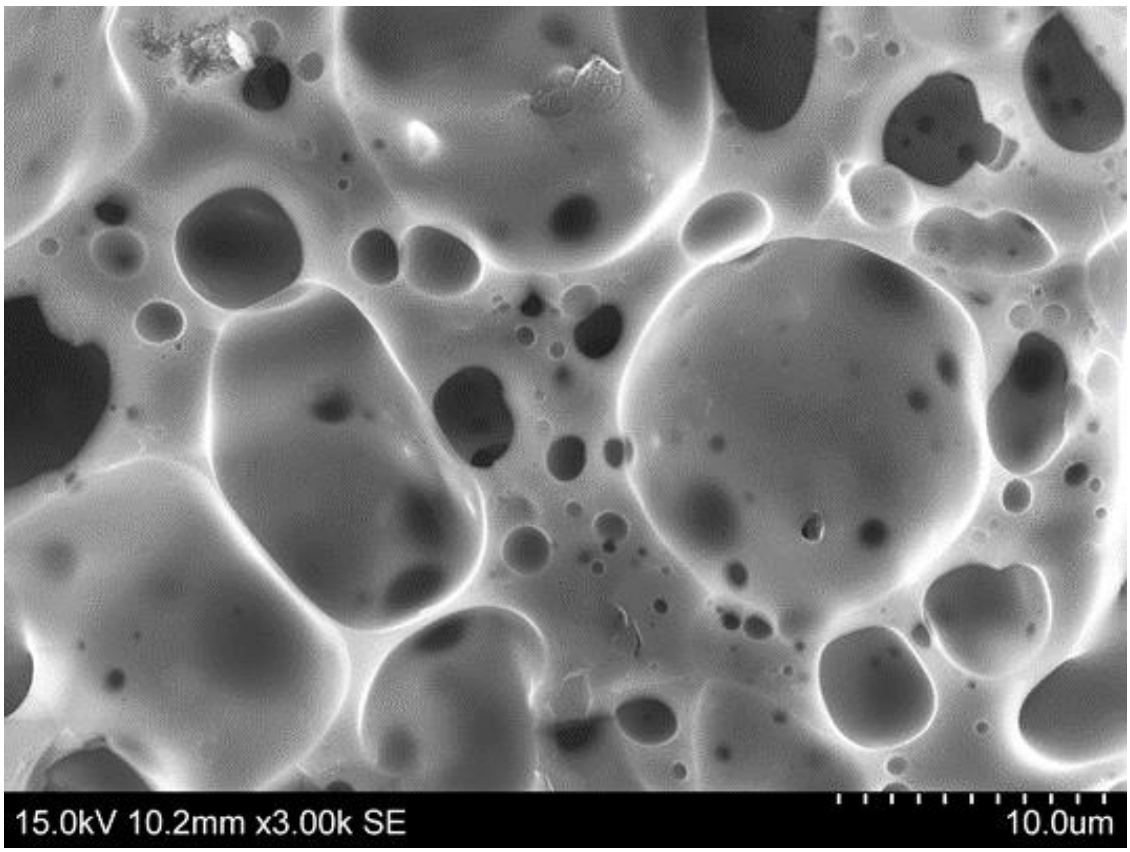

Рисунок 2. Структура полученного ячеистого силикатного материала

Полученный материал может быть использован в строительстве в качестве заполнителя для создания облегченных и теплоизоляционных конструкций. Таким образом, в процессе термической утилизации полимерных материалов, содержащих кремний, возможно извлечение не только энергетического потенциала исходного материала в результате окисления органической составляющей, но и использование зольного остатка, представляющего собой аморфный оксид кремния, в ресурсном цикле путем создания на его основе ячеистого материала, востребованного в сфере строительных материалов.

Отходы кремнийсодержащих полимерных материалов - это уникальный ресурс, поскольку он сочетает в себе материальное содержание диоксида кремния, доступного в качестве сырья для производства строительного материала, и энергетические ресурсы, достаточные для обеспечения этого производства строительных материалов.

Можно заключить, что отказ от сжигания отходов полимерных материалов, в том числе и содержащих кремний, и переход к методам утилизации, использующих материальный потенциал отходов, позволяет не только снизить вредные выбросы, но и получать различные продукты.

Список литературы:

1. Хаснуллин М. М. Разработка технологии переработки отходов силиконового производства и композиционные материалы на их основе. // Дисс. – канд. хим. наук. – Казань, КГТУ, 1998. [Khasnullin M. M. Razrabotka tekhnologii pererabotki otkhodov silikonovogo proizvodstva i kompozitsionnye materialy na ikh osnove. Diss. – kand. khim. nauk. – Kazan', KGTU. 1998. (In Russ).]

2. Каримова Диляра Рафаилевна, Лиакумович Александр Григорьевич. Переработка отходов силиконовых резин. // Промышленное производство и использование эластомеров. 2011. № 2. С. 55-58. [Karimova Dilyara Rafailevna, Liakumovich Aleksandr Grigor'evich. Pererabotka otkhodov silikonovykh rezin. Promyshlennoe proizvodstvo i ispol'zovanie elastomerov. 2011;(2):55-58. (In Russ).]

3. Тарамасова Д.Р., Рахматуллина А.П Продукт деструкции отходов резинотехнических силоксановых изделий - полифункциональная добавка для силоксановых резин. // Промышленное производство и использование эластомеров. 2018. №2. С. 41-44. [Taramasova D.R., Rakhmatullina A.P Produkt destruktsii otkhodov rezinotekhnicheskikh siloksanovykh izdelii - polifunktsional'naya dobavka dlya siloksanovykh rezin. // Promyshlennoe proizvodstvo i ispol'zovanie elastomerov. 2018; (2):41-44].

4. Патент РФ № 2412219. Способ переработки полисилоксановых резиносодержащих отходов. Войлошников В.М., Шмелёв И.Г., Каримова Д.Р., Бюлл. № 2, 2011. [Patent RF № 2412219. Sposob pererabotki polisiloksanovykh rezinosoderzhashchikh otkhodov. Voiloshnikov V.M., Shmelev I.G., Karimova D.R., Byull. 2, 2011].

5. Mohammed Fouad Alnahhal, Ubagaram Johnson Alengaram, Mohd Zamin Jumaat, Mamoun A. Alqedra, Kim Hung Mo, Mathialagan Sumesh. Evaluation of Industrial By-Products as Sustainable Pozzolanic Materials in Recycled Aggregate Concrete. Sustainability 2017, 9(5), 767; doi:10.3390/su9050767

6. Я. И. Вайсман, А. А. Кетов, П. А. Кетов. Получение вспененных материалов на основе синтезируемых силикатных стекол. // Журнал прикладной химии. 2013. Т. 86, № 7- С. 1016-1021. [Vaisman Ya. I., Ketov A. A., Ketov P. A. Production of foamed materials from synthesized silicate glasses. Russian Journal of Applied Chemistry 2013, 86 (7), pp 952–957; https://doi.org/10.1134/S1070427213070021].

7. Я. И. Вайсман, А. А. Кетов, Ю. А. Кетов, Р. А. Молочко. Эффект окисления углерода парами воды при гидратном механизме газообразования при получении ячеистого стекла // Журнал прикладной химии. 2015. Т. 88, № 3- С. 118 - 121. [Vaisman Ya. I., Ketov A. A., Ketov Yu. A., Molochko R. A. Oxidation of carbon by water vapor in hydrate gas-formation mechanism in manufacture of cellular glass. Russian Journal of Applied Chemistry 2015, 88 (3), 382–385; https://doi.org/10.1134/S1070427215030039]

УДК 622.454:622.016.62
ГРНТИ 52.01.77

МОДЕЛЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТОКА ВОЗДУХА В ВЫРАБОТАННОМ ПРОСТРАНСТВЕ ШАХТЫ

DOI: 10.31618/ESU.2413-9335.2020.1.72.616

Леонов Р.Е.
кандидат технических наук, профессор кафедры
Автоматики и компьютерных технологий
Уральского государственного горного университета,
г. Екатеринбург, 620144, ул. Куйбышева, 30

THE MODEL OF THE DISTRIBUTION OF AIR FLOW IN THE MINE SHAFT

Leonov R.E.
Candidate of Technical Sciences, Professor,
Department of Automation and Computer Technology
Ural State Mining University,
Ekaterinburg, 620144, st. Kuybysheva, 30

АННОТАЦИЯ

При некоторых допущениях общего характера составлено дифференциальное уравнение в частных производных второго прядка относительно концентрации воздуха в выработанном пространстве шахты для прямоточной схемы вентиляции. Сформулированы граничные условия и на их основе получено аналитическое решение уравнения распределения воздуха утечек. Получена трехмерная визуализация распределения воздуха утечек без учета и с учетом подпитывающей воздушной струи.

ANNOTATION

Under some assumptions of a general nature, a partial differential equation of the second strand is compiled with respect to the air concentration in the mine shaft for a direct-flow ventilation circuit. Boundary conditions are formulated and on their basis an analytical solution to the leakage air distribution equation is obtained. Received three-dimensional visualization of air distribution.

Ключевые слова: утечки воздуха, математическая модель, распределения воздуха, граничные условия, выработанное пространство, трехмерная визуализация.

Keywords: air leakage, mathematical model, air distribution, boundary conditions, worked out space, three-dimensional visualization.

Введение

Вопросам движения воздуха через пористое пространство посвящено много исследований. В первую очередь здесь надо отметить основополагающую работу Л.С. Лейбензона [1], которая помимо большого теоретического значения имела и практическое значение в виде формул по расчёту дебита газа из нефтяных скважин, работу В.И. Аравина и С.Н. Нумерова [2], основанную на теоретических разработках [1], работы по рудничной аэрологии [3 - 6].

Во многих из этих исследований рассматривается движение газа в нефтяных скважинах. В то же время при рассмотрении режимов проветривания имеются особенности, которые определяют отличия проветривания рудников и шахт от истечения газа в нефтяных скважинах. Отличия связаны с утечками подаваемого на проветривание воздуха через конструктивные элементы и выработанное пространство [7]. Кроме того воздух на проветривание подаётся принудительно вентиляционными установками (в отличие от газа

нефтяных месторождений), воздух утекает через большое пространство обрушенной породы, в то время как газы нефтяных месторождений транспортируются через скважины несоизмеримо меньшие по геометрическим размерам. Наконец режимы выделения газа и подаваемого принудительно на проветривание воздуха совершенно различны.

Все это привело к развитию большого количества исследований движения воздуха в выработанном пространстве рудников и шахт, которое продолжается и в настоящее время [9]. В этих исследованиях [10,11] значительное внимание уделено коэффициенту фильтрации и применимости закона Дарси, устанавливающего линейную зависимость расхода воздуха через пористую среду от напора, вызывающего движение воздуха [6].

Следует отметить универсальность закона Дарси [12]. Однако ряд авторов считает, что зависимость, расхода воздуха от напора определяется местными условиями горных предприятий и имеет более сложный вид. Вид зависимости по их исследованиям связан с числом Рейнольдса и может быть степенным [1, 11]

$$W = \frac{V}{\sqrt{K}}\left(\frac{gK\sqrt{K}}{V^2 B_1}\right)^{1/s} \qquad (1)$$

где S = 2 при турбулентной фильтрации;

W –скорость фильтрации (остальные составляющие (1) константы), либо по мнению других исследователей зависимость скорости фильтрации от расхода воздуха в зоне обрушения носит квадратичный характер [3,4,10]

$$h = a*Q + b*Q^2 \qquad (2)$$

где h – сопротивление фильтрационной среды, Q – расход воздуха, a, b – константы.

Учитывая, что все авторы отмечают вид зависимости фильтрации воздуха через выработанное пространство от числа Рейнольдса, предложены различные методы расчёта числа Рейнольдса. При этом все считают, что число Рейнольдса можно установить только на основе эксперимента в конкретных условиях, расчётные выражения для коэффициента фильтрации, применённые на конкретном объекте исследований, дают разные результаты и в связи с этим рекомендуют эмпирические и полуэмпирические формулы для расчёта числа Рейнольдса и коэффициента фильтрации.

В то же время общие условия транспортирования воздуха через выработанное пространство исследованы недостаточно.

Целью данной работы является:

На основании общетеоретических данных и при некоторых допущениях получить аналитическое выражение для движения воздуха через выработанное пространство, сформулировать граничные условия для уравнений, описывающих фильтрацию флюида при принятых допущениях, создать визуализацию расхода воздуха в выработанном пространстве.

Методика исследования.

Выполненные исследования основаны на примере схемы подачи воздуха, приведённой на Рис.1 [13].

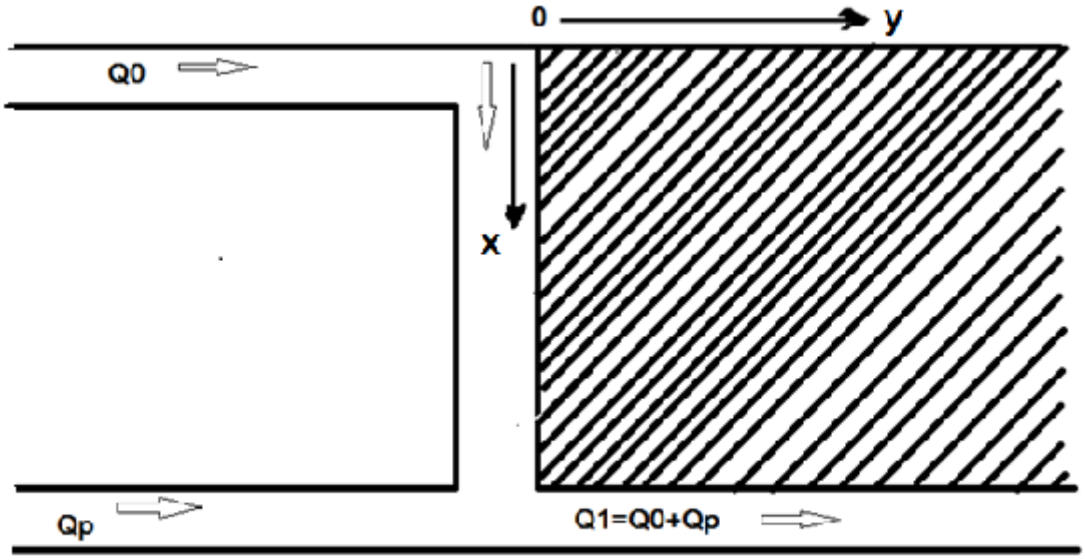

Рис.1.Схема воздушных потоков

Далее рассмотрен установившийся режим движения воздуха. При этом воздушный поток изменяется вдоль вентиляционного штрека. Последнее связано с тем, что из входящей струи Q_0 при движении её вдоль лавы часть воздушного потока уходит в выработанное пространство и

затем, двигаясь в пространстве в том числе и в направлении вентиляционного штрека, добавляется к подпитывающей струе Qp. Часть воздушного потока Q_0, которая уходит выработанное пространство вдоль линии своего передвижения не остаётся постоянной.

Задача состоит в определении величин этого воздушного потока вдоль вентиляционного штрека с учётом Qp, части Q_0, которая ответвилась в выработанное пространство и остаточной части входящего потока воздуха Q_0.

Рассмотрим систему координат с началом в точке O (см. рис.1) с осями координат xyz, причём ось z направлена перпендикулярно плоскости рис.1.

Выделим в пространстве малый элемент с координатами xyz, и сторонами dx,dy,dz. При промышленном давлении воздуха, подаваемого на проветривание, накоплением воздуха в выделенном элементе за счёт сжатия можно пренебречь. Можно также пренебречь выходом воздуха из выделенного элемента в направлении оси oz, так как отсутствует градиент давления в этом направлении – перпендикулярно плоскости рис.1.

Кроме этого ниже рассматривается стационарный режим и следовательно отсутствует изменение расхода в выделенном элементе во времени. Наконец, в первом приближении далее не учитывалось, что в выработанное пространство возможно некоторое ответвление воздуха подпитки. Обозначим расход воздуха, поступающего в выделенный элемент Q(x,y), где (x,y) текущие координаты.

Неоднократно указывалось, что движение воздуха при стационарном режиме в первом приближении является аналогичным фильтрации жидкости через пористый слой и может быть описано законом Дарси [14]

$$Q = -K\frac{\partial P}{\partial l} \quad (3)$$

где Q – расход воздуха, пропорциональный скорости фильтрации,

K – коэффициент фильтрации,

$\partial P / \partial l$ - градиент давления в направлении фильтрации.

В данном случае скорость фильтрации пропорциональна расходу воздуха в точке (x,y) выработанного пространства. В действительности, как не однократно указывалось, на различных участках выработанного пространства может наблюдаться линейный, квадратичный и даже двучленный закон фильтрации [4]. Более того, так как, например, при двучленном законе в формулу входит больше параметров, подгонка формулы под реально наблюдаемые данные должна автоматически быть более точной. Ясно, что при дальнейшем усложнении формулы модели фильтрации и вводе в неё большего количества параметров будет получено ещё лучшее совпадение с экспериментальными данными. Не отрицая безусловную практическую полезность более сложных, чем закон Дарси, моделей фильтрации, следует отметить, что усложнение расчётного закона фильтрации не основано на каких-либо теоретических положениях. Учитывая изложенное, далее принята линейная модель фильтрации. При этом предполагалось, что коэффициент сопротивления, а следовательно и коэффициент фильтрации обрушенного массива – это некоторый усреднённый по различным участкам пространства коэффициент, устанавливающий в среднем линейное соотношение между расходом воздуха и перепадом давления, вызывающим перемещение воздуха.

Такое представление, не претендуя на большую точность, позволяет наглядно представить воздушные потоки в выработанном пространстве. Кроме того, при малых скоростях движения воздуха можно пренебречь вторым членом в двухчленной формуле и тогда это уравнение будет тождественно закону Дарси [3].

Считая коэффициент фильтрации в направлении всех осей координат одинаковым и равным k, пренебрегая перемещением воздуха в направлении 0z ввиду отсутствия изменения градиента давления в этом направлении, учитывая принятую стационарность рассмотрения процесса фильтрации, пренебрегая изменением плотности воздуха, можно получить общее описание процесса фильтрации воздуха в направлении осей ox и oy в выработанном пространстве.

При принятых допущениях общая модель фильтрации воздуха с математической точки зрения аналогична модели диффузии и теплопроводности [12] и описывается уравнением Лапласа

$$\frac{\partial^2 Q}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 Q}{\partial Y^2} = 0 \quad (4)$$

Для получения решения (4) следует определить граничные условия.

Из физических соображений ясно, что при x=y=0 Q(x,y) = Q_0. В выработанное пространство может уходить 30-70% потока Q_0 [6,15,17,18]. Следовательно, при x = L, y = 0, Q(x,y) = (0,3 ÷ 0,7)*Q_0 , где L - длина лавы. В дальнейших расчётах для проверки модели принято L = 300м. Остаток начального потока в конце лавы принят Q(L,0)=0.4*Q_0.

Проведённые в [16] расчёты показывают, что при длине выработанного пространства примерно в два раза больше длины лавы, выход воздуха в вентиляционный штрек практически равен нулю. В дальнейшем принято, что при длине выработанного пространства, равном L Q(x,y) = 0,05Q_0. При сформулированных граничных условиях для решения (4) используем метод Фурье. Будем искать решение в виде

Q(x,y) = U(x)*V(y)(5)

Из (4) и (5) следует

$$\frac{\partial^2 Q}{\partial X^2} = \frac{\partial^2 U}{\partial X^2} * V(y) \quad (6)$$

$$\frac{\partial^2 Q}{\partial Y^2} = \frac{\partial^2 V}{\partial Y^2} * U(x) \quad (7)$$

Подставляя (6),(7) в (5), получим

$$V * \frac{\partial^2 U}{\partial X^2} = -U \frac{\partial^2 V}{\partial Y^2} \quad (8)$$

Или

$$\frac{1}{U} * \frac{\partial^2 U}{\partial X^2} = -\frac{1}{V} * \frac{\partial^2 V}{\partial Y^2} \quad (9)$$

Так как левая часть (9) зависит только от X, а правая только от Y, то это возможно только если обе эти части равны одной и той же постоянной величине C^2. Разделяя уравнение (9) на два отдельных уравнения и интегрируя каждое из них, получим общее решение

$$Q(X,Y) = (C1 * \exp(C * X) + C2 * \exp(-C * X)) * \\ * (B1 * \cos(C * Y) + B2 * \sin(C * Y)) \quad (10)$$

Из условия, что расход воздуха в питающей струе не может быть равен бесконечности, получаем C1=0. Учитывая изложенное получаем при X=Y=0 в начале лавы $C2*B1=Q_0$ и снижение первоначального расхода на уровне вентиляционного штрека до 40% от первоначального

$Q_0*\exp(-C*X)*\cos(C*Y)=0.4*Q_0$ при Y=0 и X=L, находим C=ln(0.4)/300=0.0031.

Используя условие, что при длине выработанного пространства, равном L на уровне вентиляционного штрека равном L $Q(x,y) = 0.05Q_0$

$$Q(x,y) = Q_0*\exp(-0.0031*x)*(\cos(0.0031*y) - 0.6*\sin(0.0031*y)) \quad (11)$$

В дальнейшем использовано выражение (11) для построения картины распределения расхода воздуха в выработанном пространстве.

Изменяя координаты 0<=X<=L, 0<=Y<=300 получим картину распределения потоков воздуха в пространстве. Изменяя 0<=Y<=300 при X=L=300 м. и учитывая Qp, получим распределение расхода воздуха в вентиляционном штреке

$$Qob = Q(0,L) + Qp.$$

Ниже на Рис.2 приведена визуализация распределения расхода воздуха в пространстве при расходе подаваемого основного воздуха 4000 куб.м/мин. и дополнительного воздуха по вентиляционной выработке 2000 куб.м./мин.

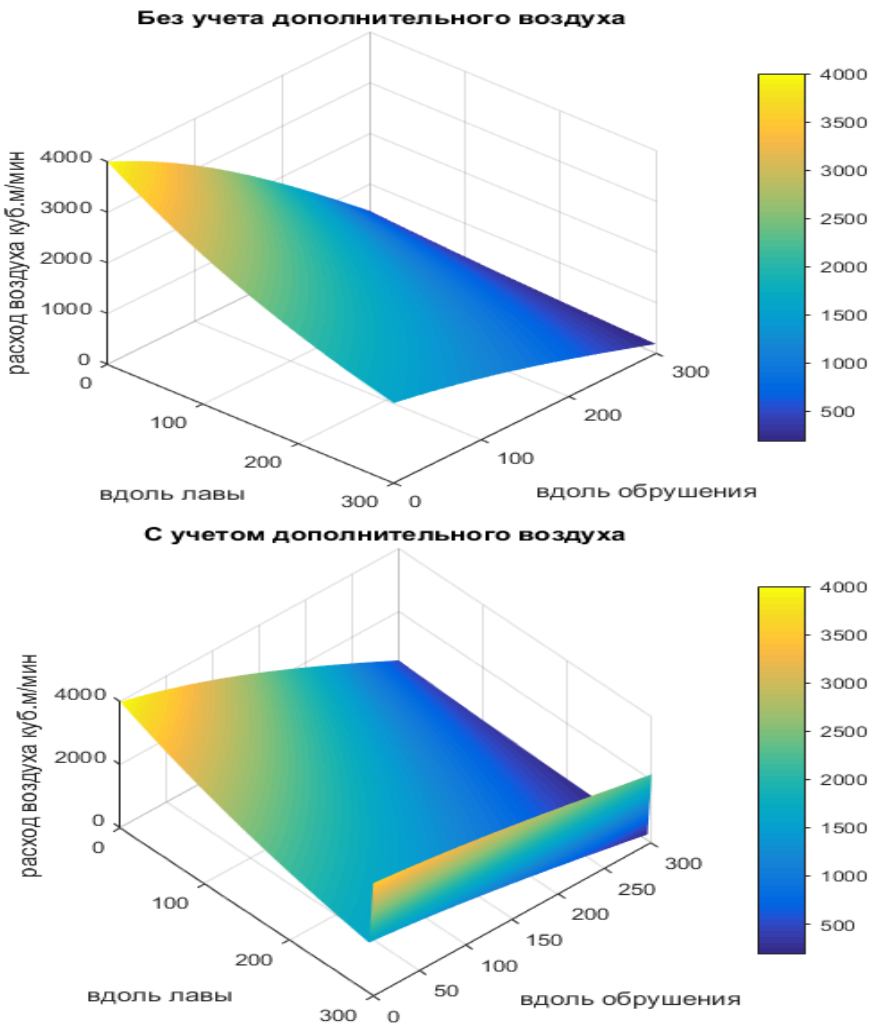

Рис.2.Визуализация распределения воздуха в пространстве

Выводы.

На основании проведённых исследований сформулированы граничные условия уравнений Лапласа, описывающих расход воздуха утечек в выработанном пространстве шахт и получено выражение, описывающее зависимость расхода воздуха в пространстве от координат точек выработанного пространства, а также выражение для расхода дополнительного воздуха с учётом частичного возврата воздуха из выработанного пространства в вентиляционный штрек. Построена на конкретном примере визуализация распределения воздуха в выработанном пространстве шахты и в вентиляционном штреке.

Литература

1.Лейбензон Л.С. Движение природных жидкостей и газов в пористой среде.- М-Л. ОГИЗ, 1947 г. - 214 с.

2.Аравин В.Н., Нумеров С.Н. Теория движения жидкостей и газов в недеформируемых пористых средах .-М:, Гостехтеориздат, 1956 г. - 618 с.

3.Абрамов Ф.А. Рудничная аэродинамика. - М:, Недра,1972 г. - 274 с.

4.Алехичев С.П.,Вассерман А.Д. Воздухораспределение в рудниках с зонами обрушения. - Л:,Наука, 1973 г. - 84 с.

5.Пучков Л.А. теоретические основы рудничной аэрологии. Ч.1.Общая аэродинамика. - М:,Изд МГИ,1977 г. - 87 с.

6.Алехичев С.П. Основные вопросы проветривания на горных рудниках с большими площадями зон обрушения. Докт дисс., фонды СГИ,- 1972 г. - 276 с.

7.Милетич А.Ф. Утечки воздуха и их расчет при проветривании шахт - М:,Недра, 1968 г. - 146 с.

8.Абрамов Ф.А., Грецингер В.Е., Соболевский В.В., Шевелнв Г.А. Аэродинамика выемочного участка. Сборник. Изд. Наукова Думка,К:, 1972 г. - 236 с.

9.Бунько Т.В., Кокоулин И.Е., Головко С.А. Обобщенный алгоритм рассчета утечек воздуха через выработанное пространство для различных схем проветривания выемочных участков. Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. — Днепропетровск: ИГТМ НАНУ, 2013. — Вип. 108. — С. 143-151.

10. https://studopedia.ru/3_73876_ploskoradialniy-

filtratsionniy-potok-neszhimaemoy-zhidkosti-i-gaza-po-dvuchlennomu-zakonu-filtratsii.html 23.10.2019

11. https://studopedia.su/14_69625_formuli-filtratsii.html23.10.2019

12 .Батунер Л.М.,Позин М.Е. Математические методы в химической технике. - Л:,Химия, 1968 г. - 824 с.

13. Шувалов Ю.В.,Павлов И.А.,Веселов А.П. Комплексное использование ресурсов и регулирование газового режима шахт Воркутинского месторождения. - С-Пб, Изд. Международная академия наук экологии, безопасности человека и природы. - 2006 г.-302 с.

14. https://rengm.ru/rengm/zakon-darsi-dvizhenie-zhidkosti-i-gaza-v-sisteme.html27.10.2019

15. https://studopedia.ru/5_118785_utechki-cherez-virabotannoe-prostranstvo.html27.10.2019

16. http://geotm.dp.ua/attachments/article/1943/sb10811.PDF27.10.2019

17. k-ru.ru/s6973t15.html 28.10.2019

18.ПорцевскийА.К. Вентиляция шахт, Аэрология карьеров. Аэрология горных предприятий. - М.:, Изд.Московский государственный открытый университет.-2004 г.,71с.

Literature

1.Leibenzon L.S. The movement of natural liquids and gases in a porous medium. - M-L. OGIZ, 1947 - 214 p

2. Aravin V.N., Numerov S.N. The theory of the movement of liquids and gases in non-deformable porous media.-M: Gostekhteorizdat, 1956 - 618 p.

3. Abramov F.A. Mine aerodynamics. - M :, Nedra, 1972 - 274 p.

4. Alekhichev S.P., Wasserman A.D. Air distribution in mines with collapse zones. - L:, Science, 1973 - 84 p.

5. Puchkov L.A. theoretical foundations of mine aerology. Part 1. General aerodynamics. - M:, MGI Publishing House, 1977 - 87 p.

6. Alekhichev S.P. The main issues of ventilation in mountain mines with large areas of caving zones. Doctoral diss., Funds of the State Property Institute, - 1972 - 276 p.

7. Miletich A.F. Air leaks and their calculation during ventilation of mines - M: Nedra, 1968 - 146 s.

8. Abramov F.A., Grezinger V.E., Sobolevsky V.V., Shevelnv G.A. Aerodynamics excavation site. Collection. Ed. Naukova Dumka, K :, 1972 - 236 p.

9. Bunko T.V., Kokoulin I.E., Golovko S.A. A generalized algorithm for calculating air leaks through a mined-out space for various ventilation schemes for excavation sites. Geotechnical Mechanics: Mezhved. Sat scientific tr - Dnepropetrovsk: IGTM NASU, 2013. - VIP. 108. - S. 143-151.

12 .Batuner L.M., Pozin M.E. Mathematical methods in chemical engineering. - L:, Chemistry, 1968 - 824 p.

13. Shuvalov Yu.V., Pavlov I.A., Veselov A.P. Integrated use of resources and gas regulation of the mines of the Vorkuta deposit. - St. Petersburg, Publ. International. Academy of Ecology, Human Security and Nature. - 2006 - 302 s.

18. Portsevsky A.K. Mine ventilation, Aerology quarries. Aerology of mining enterprises. - M.:, Ed. Moscow State Open University.-2004, 71c.

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ МОРСКОГО ПОДВОДНОГО ТРУБОПРОВОДА НА ЕГО БЕЗОПАСНОСТЬ"

Представлен инженерный подход к оценке последствий подводного разрыва и оценка структурной целостности подводного заглубленного трубопровода.

DOI: 10.31618/ESU.2413-9335.2020.1.72.617

Л.В. Муравьева[1], И.Г. Овчинников[2]

[1]*Саратовский государственный технический университет,*
г. Саратов, Политехническая ул., 77
[2] *Тюменский индустриальный университет,*
г. Тюмень, ул. Республики, 47
Саратовский государственный технический университет,
г. Саратов, ул. Политехническая,77

AN ENGINEERING APPROACH TO ASSESSING THE CONSEQUENCES OF AN UNDERWATER EXPLOSION AND EVALUATING THE STRUCTURAL INTEGRITY OF AN UNDERWATER BURIED PIPELINE IS PRESENTED.

L. V. Muravieva[1], I. G. Ovchinnikov[2]

[1] *Saratov state technical University, Saratov,*
[2] *Tyumen industrial University,*
Tyumen, Republic street, 47;
Saratov state technical University,
Saratov, Polytechnic street, 77

АННОТАЦИЯ

Введение: Производительность систем нефте и газопроводов при эксплуатационных и природных нагрузках является важным инженерным показателем. В настоящее время энергетические ресурсы и методы их транспортировки улучшились. У нас есть обильные поставки природного газа и нефти; атомные

электростанции. Внедряются возобновляемые источники энергии, которые повышают эффективность производства, улучшают энергетический портфель страны. Достижения в области энергоэффективности позволяют сократить энергетические затраты производителей. Наша энергетическая инфраструктура нуждается в масштабных инвестициях, в строительстве, но разработчики сталкиваются с новыми проблемами.

Обеспечение структурной целостности подводного трубопровода, подвергнутого воздействию подводного взрыва - важная задача. В работе рассматривается моделирование заглубленного подводного трубопровода как системы трубопровод-вода-грунт с учетом влияния водной среды, грунтового основания и взрыва транспортируемой среды. Работа выполнена с целью развития требований обеспечения безопасности на действующих и будущих оффшорных проектах.

Цель данной работы - представить инженерный подход к оценке последствий подводного взрыва и оценить структурную целостность морского заглубленного трубопровода.

Материалы и методы: Существующие подходы основаны на применяемых математических моделях оценки целостности конструкции при взрывных воздействиях с учетом внутренней энергии конструкции.

Результаты: Разработаны предложения к требованиям по обеспечению безопасности заглубленных морских подводных трубопроводов с учетом водной среды при воздействии взрыва транспортируемой среды и учете упругой энергии трубопровода. Предложения представлены на рассмотрение в Российский Морской Регистр Судоходства. Проведены исследования по определению безопасного расстояния между двумя подводными трубопроводами.

Выводы: Результаты получены путем математического моделирования с помощью конечно-элементных моделей системы «трубопровод-вода-грунт» для оценки безопасности морского заглубленного трубопровода при учете упругой энергии конструкции.

ABSTRACT

Introduction: The performance of oil and gas pipeline systems under operational and natural loads is an important engineering indicator. In the new century, energy resources and methods of transportation have improved. We have abundant supplies of natural gas and oil; nuclear power plants. Renewable energy sources are being introduced, which increase production efficiency and improve the country's energy portfolio. Achievements in the field of energy efficiency allow to reduce energy costs of producers. Our energy infrastructure needs large-scale investments, construction, but developers face new challenges.

The structural integrity of an underwater pipeline exposed to an underwater explosion is an important task. The simulation of a submerged underwater pipeline as a pipeline-water-ground system is considered, taking into account the influence of the water environment, the soil base and the explosion of the transported medium. The work was carried out to ensure and develop security requirements for existing and future offshore projects.

The purpose of this work is to present an engineering approach to the assessment of the consequences of an underwater explosion and to assess the structural integrity of an offshore buried pipeline.

Materials and methods: The existing approaches are based on the applied mathematical models for assessing the integrity of the structure under explosive influences, taking into account the internal energy of the structure.

Results: Proposals to the requirements for ensuring the safety of buried subsea pipelines with the water medium under the influence of the explosion of the transported medium and the elastic energy of the pipeline. The proposals are submitted for consideration to the Russian Maritime Register of Shipping. Studies have been carried out to determine the safe distance between two underwater pipelines. **Conclusions:** The results were obtained empirically using finite element models of the pipeline-water-soil system to assess the safety of the offshore buried pipeline taking into account the elastic energy of the structure.

Ключевые слова: заглубленный подводный трубопровод, безопасность, упругая энергия, разрушение, модель жидкость- твердое тело, риск, надежность, энергетический фактор.

Key words: buried underwater pipeline, safety, elastic energy, fracture, liquid - solid model, risk, reliability, energy factor.

ВВЕДЕНИЕ

Энергия разрушения трубопроводов повышается с увеличением диаметра и давления в трубопроводе [1]. Оценка энергии разрушения важна для определения опасных зон, обоснования расстояния между соседними нитками трубопроводов (рис.1).

Морские нефтегазовые месторождения открывают в более глубоких водах. Подводные трубопроводы работают при высоких температурах и давлениях. Повреждение и нарушение заглубленных подводных трубопроводов оказывает серьезное воздействие на работу системы транспортировки углеводородов, приводят к крупным экономическим потерям [8]. Вторичные разрушения и отказы трубопроводов увеличивают трудности восстановления системы.

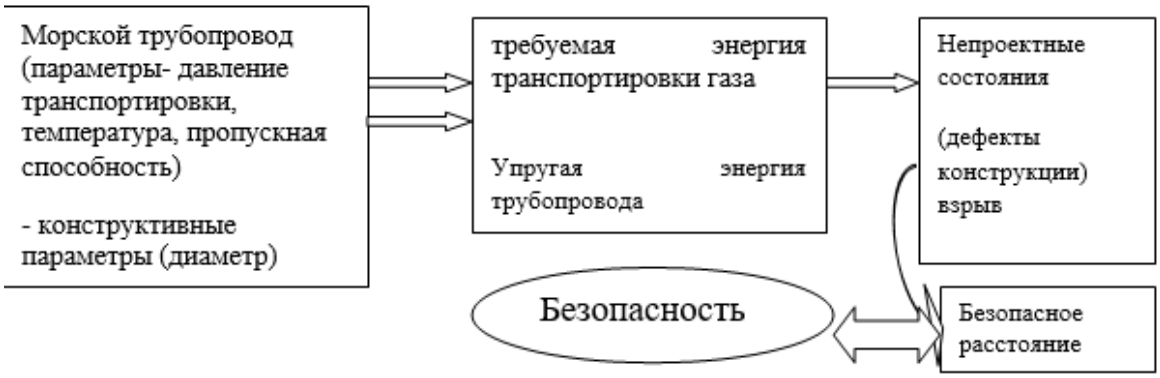

Рис.1. Цели обеспечения безопасности деятельности подводных трубопроводов

На блок-схеме показаны все важные вопросы, а стрелки показывают, как проблемы влияют друг на друга.

Требуемая энергия на единицу массы транспортируемой среды пропорциональна определенным транспортным расходам в соответствии со следующими зависимостями [1,2]:

$$\frac{Energy}{Mass} = \frac{L}{D^2} \cdot \frac{\Delta H}{\eta} \text{ (for liquid)} \qquad (1);$$

$$\frac{Energy}{Mass} \approx \frac{L}{D^5} \cdot \frac{\Delta p}{\eta} \text{ (for gas)} \qquad (2),$$

где напор H ,□□*p и* □*H* (изменение давления или напора), η -пропускная способность, D – диаметр трубопровода, L- длина участка трубопровода, . данного случая при замене D*p* and D*H в* соотношениях (1,2)

Уравнение (1)2) приводит к общему соотношению между энергией/массой и пропускной способностью трубопровода.

Фундаментальные уравнения, описывающие течение газожидкостных сред по трубопроводам формально идентичны. Большой разрыв между диапазонами сжимаемости газа и жидкости приводит к различным транспортным характеристикам для обоих видов сред.

Уравнение энергии - это связь между механикой потока и термодинамикой. Основой для термодинамики являются температурные модели. Динамика поведения трубопроводной системы рассчитывается путем моделирования в реальном времени полной модели, включая все существующие элементы газораспределительной системы с точки зрения отображения реального мира.

Оптимальный диаметр трубопровода определяется кривой энергия/масса и показывает минимальные пределы при требуемой пропускной способности [1]. На рис.2 представлен результат соотношения давление- пропускная способность при замене □p и □H.

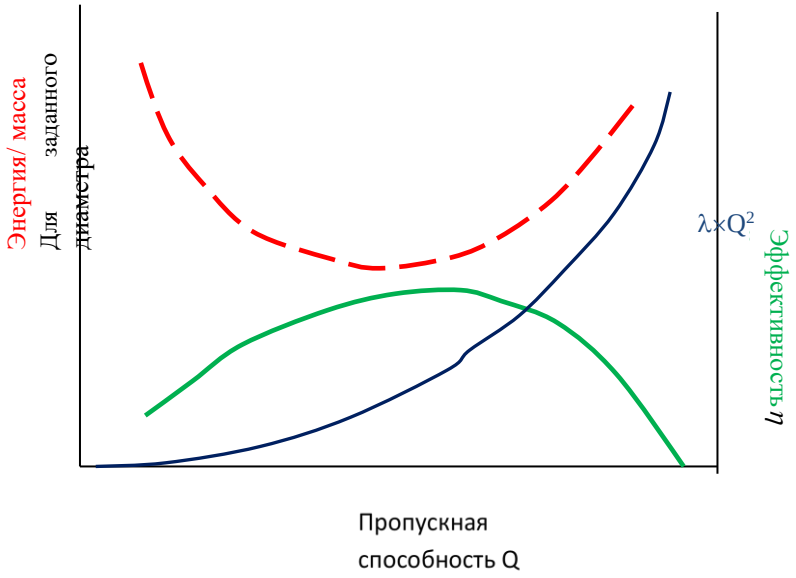

Рис. 2 Общий график, иллюстрирующий соотношение между энергией / массой и пропускной способностью.

В зависимости от проектной нагрузки и типоразмера уровень запасенной в металле труб энергии упругой деформации может существенно отличаться, что требует учета данного фактора при формировании показателей сопротивляемости газопроводов разрушению.

В работе [3] введен термин «удельная энергия упругой деформации». Целесообразность учета энергетического фактора объясняется применением методики планирования ремонтных работ. В основе методики лежит соотношение, определяющее удельную энергию упругой деформации трубопровода:

$$W_{уд_{трубопр}} = \frac{2.86 P_{cp}^2 D_{вн}^2 D_{cp}}{8E\delta} \qquad (3)$$

где *Pср* – среднее давление на рассматриваемом участке трубопровода, МПа; *Dвн*, *Dср* –внутренний и средний диаметр труб, соответственно, м; *E* – модуль упругости материала стенки трубы, δ - толщина стенки газопровода.

Нагружение газопровода, связанное с пульсацией транспортируемого продукта, приводит к ускорению развития трещин и к коррозионному растрескиванию в трубах. Эмпирическая зависимость снижения трещиностойкости при повышении запасенной в трубах удельной энергии упругой деформации приведена в работах [4,5], но следует отметить, что эти работы выполнены с использованием трубных сталей - Х70, 17Г1С, на сухопутных газопроводах, с учетом влияния эксплуатационных нагрузок (таблица 1).

Таблица 1

Зависимость удельной энергии упругой деформации газопроводов от эксплуатационных характеристик [3].

		Толщина стенки газопровода, мм							
Диаметр газопровода,мм		6,0	7,0	10,0	12,0	14,0	15,7	16,5	19,5
		Значения удельной энергии упругой деформации газопровода, МДж/м							
	325	0,00271*	0,00229*	-	-	-	-	-	-
	530	0.00122*	0,001036	0,000704*	-	-	-	-	-
	720	0,003106*	0,002644*	0,001812*	0,001488*	-	-	-	-
	1020	-	-	0,00526*	0,004339*	0,003682*	-	-	-
	1220	-	-	-	-	0.011969**	0,010598**	0,01005**	-
	1420	-	-	-	-	-	0.016867	0,016003**	0,013395**

* при давлении 5,4МПа

** при давлении 75,4МПа

Разрушение подземного газопровода

Часть вероятных отказов магистрального трубопровода (МТ) не связана с его возрастом, а зависит от качества строительства, использования и технического обслуживания. Доминирующими причинами аварийных ситуаций являются: коррозия – 50%, механические повреждения (воздействия якорей, тралов) вспомогательных судов и строительных барж – 20% и повреждения, вызванные штормами, размывами дна – 12%. При этом большинство инцидентов произошло на участках МТ в непосредственной близости от платформ (в пределах ~15,0 м), в том числе, на стояках.

При разрушении подводного газопровода сжатый газ начинает выделяться в окружающую среду, и под действием разности давлений граница контакта «газ - жидкость» начинает расширяться по модели представленной в [7].

Все элементы морского трубопровода (металлические трубы, балласт, изоляция) работают в агрессивной морской воде. Опыт эксплуатации подводной техники показывает, что некоторые прочностные характеристики металла (параметры трещиностойкости, характеристики усталости) и скорость коррозии внешней поверхности трубы зависят от солености морской воды.

Рассматривая возможные механизмы развития дефектов, следует учитывать:

— возможность их роста по механизму стресс-коррозии,

— возможность их роста по механизму усталости или коррозионной усталости.

Первый механизм относится к дефектам всех типов, второй – лишь к трещиноподобным дефектам.

Модель тротилового эквивалента используется для преобразования энергии физического взрыва подземных трубопроводов. Предложены две упрощенные модели, для описания эффективного диапазона физического взрыва трубопровода: концентрированная масса и линейное распределение на единицу длины

Энергию разрушения можно определить через тротиловый эквивалент [11], т.е. энергию, выделяющуюся при взрыве взрывчатого вещества(ВВ), или как работу адиабатического

расширения продуктов взрыва. Теоретически работа адиабатического расширения продуктов взрыва – это идеальная работа взрыва:

$$A_И = Q\left[1-\left(p_2/p_1\right)\right]^{\frac{R-1}{R}}, \qquad (4)$$

Здесь: Q-теплота реакции взрыва, p_1 - начальное давление, p_2- конечное давление, R-показатель адиабаты (R=1.31).

Внезапное расширение природного газа при разрушении газопровода находится по формуле:

$$A_И = \int_{V_1}^{V_2} pdV = \int_{p_2}^{p_1} Vdp + \left(p_2V_2 - p_1V_1\right) = i_1 - i_2 + \left(p_2V_2 - p_1V_1\right) \qquad (5)$$

где V_1, V_2 - удельные объемы газа до и после расширения; i_1, i_2-энтальпия газа, s= const до p_2=0,1 Мпа; s – энтропия.

$$A_И = \frac{A_И \pi D_{тр}^2}{4V_1}, \qquad (6)$$

где $D_{тр}$ - диаметр трубопровода.

Исходные данные и результаты расчета взрывного эффекта от расширения газа в трубопроводе диаметром 1420 мм приведены в таблице 2.

Таблица 2

P,МПа	$D_{тр}$, мм	$A_и$, кДж/кг	$A'_И$, кДж/м	$A_и\lambda A_И^{ВВ}$ кг/кг	$A'_И\lambda A_И^{ВВ}$	Энергия газа (в тоннах тротила) при различных длинах пробега трещины в (м)		
						100	200	300
5,5	1220	268,8	12,187	0,0904	4,1	0,41	0,82	1,23
7,5	1220	274,4	17,500	0,0922	5,9	0,59	1,18	1,77
7,5	1420	274,4	23,709	0,0922	8,0	0,8	1,6	2,4
10,0	1420	275,1	32,765	0,0925	11,0	1,1	2,2	3,3
10,0	1420	273,0	39,827	0,0918	13,4	1,34	2,68	4,02

Здесь энергия газа приведена в тоннах тротила при различных длинах пробега трещины в (м)

Механизм разрушения подводного незаглубленного трубопровода

В эту проблему значительный научный вклад внесен исследованиями [9,10,12,13,14,18,22], но в открытой литературе имеется немного информации.

Компания Saipem сталкивалась с проблемой оценки структурной целостности морского трубопровода, подвергшегося подводному взрыву в проекте "Северный поток"[1] ([12]).Во время выполнения проверочных обследований для проекта "Северный поток", были найдены 85 неразорвавшихся боеприпасов вдоль выбранного маршрута трубопровода. В работах [12,13] рассмотрена методология оценки структурной целостности трубопровода от случайного взрыва.

Рассмотрим основные параметры, влияющие на оценку структурной целостности конструкции.

1.Морские трубопроводы представляют собой сложные технические системы. Расчёт таких систем на прочность, ресурс и безопасность проводят методами механики разрушения. Разрушение подводного газопровода ***происходит*** в основном в виде одиночной протяженной трещины, которая движется вдоль тела трубы, ***раскрывая*** её. При разрыве трубопровода происходит взаимодействие сжатого газа и водной среды.

Возникновение аварийных разрывов на газопр оводах связано с физическими эффектами двух видов: внутренними - нестационарными газодинамическими процессами в самих трубопроводах, определяющими динамику выброса природного газа в атмосферу; внешними - определяющими воздействие процесса разрушения участка трубопровода высокого давления на окружающую среду.

2.Анализ подводного разрушения незаглубленного трубопровода.

Все элементы морского трубопровода (металлические трубы, балласт, изоляция) работают в агрессивной морской воде. Опыт эксплуатации подводной техники показывает, что некоторые прочностные характеристики металла (параметры трещиностойкости, характеристики усталости) и скорость коррозии внешней поверхности трубы зависят от солености морской воды.

Дефекты потери металла определяются как эксплуатационные. Разрушение части металла происходит в результате химического, электрохимического или механического воздействия.

Очевидно, что оценка допустимости дефекта должна исходить из того, что дефект допустим не только на момент контроля, но и будет допустимым на момент следующей диагностики.

Рассматривая возможные механизмы развития дефектов, следует учитывать:

[1]NordStream-"Северный поток"— экспортный газопровод из России в Европу через Балтийское море.

— возможность их роста по механизму стресс-коррозии,

— возможность их роста по механизму усталости или коррозионной усталости.

Первый механизм относится к дефектам всех типов, второй – лишь к трещиноподобным дефектам.

Рост трещины под действием переменной составляющей эксплуатационных напряжений, возникающей из-за перепадов давления, изменения температуры, возможных придонных течений, принципиально возможен. Для таких оценок могут быть использованы результаты исследований кинетики усталостной трещины в трубных сталях, представленные на рис. 3 [14].

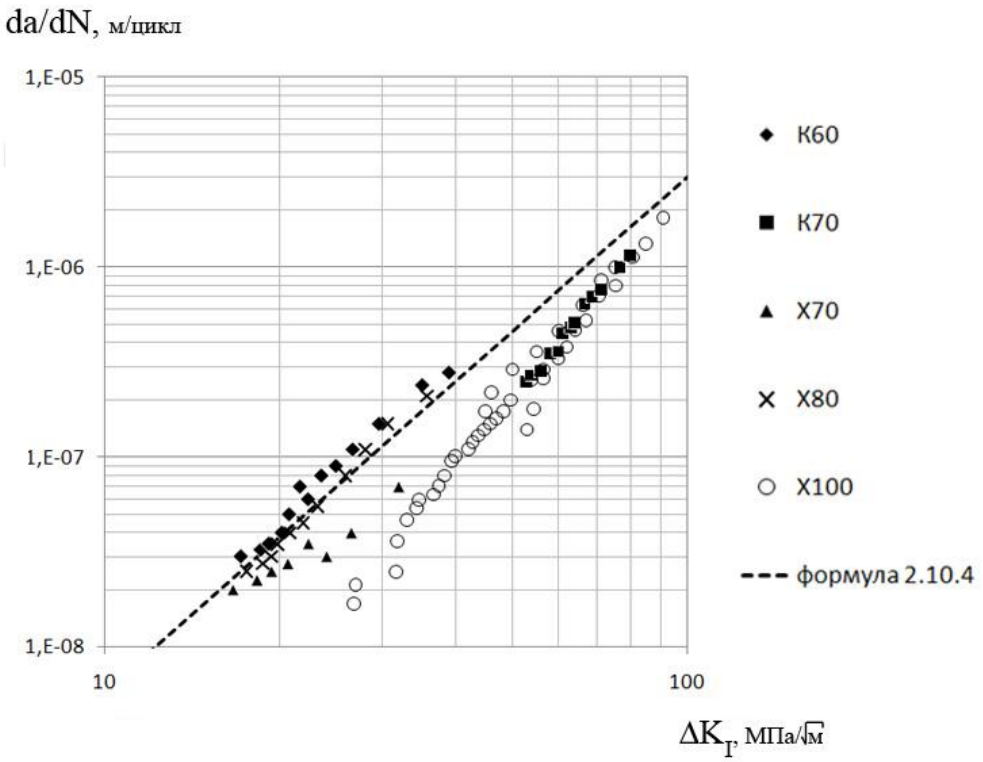

Рис.3. Результаты испытаний на кинетику усталостной трещины образцов из труб, коэффициент асимметрии 0,1.

Рассмотрим исходя из этого критерия допустимые размеры одиночного коррозионного повреждения, используя формулы[2].

Отношение разрушающего давления для трубы с дефектом и бездефектной трубы R_s определяется по формуле:

$$R_s = \frac{1-\dfrac{d}{t}}{1-\dfrac{d}{tQ}}, \qquad (7)$$

где Q – поправка Фолиаса, $Q = \sqrt{1+0.31\left(\dfrac{l}{\sqrt{Dt}}\right)^2}$, d – глубина дефекта, t – длина по образующей трубы.

Принимая величину R_s как отношение напряжений при рабочем давлении трубопровода к допустимому напряжению [σ] (по документу ОАО «Транснефть» $R_s = 0.95R_e$), можно получить связь допустимых параметров дефекта d и t. Рассмотрим в качества примеров варианты трубопроводов, принятые в предыдущем разделе, с уровнем напряжений при рабочем давлении $\sigma = 0.7R_e$. Диаметр трубы – 1220 мм. Результаты оценок приведены в таблице 7.

[2] Приложения G “The assessment of corrosion in pipes and pressure vessels” стандарта BS 7910.

Таблица 7

Оценка допустимых дефектов типа «потеря металла» (коррозионный износ).

№	Толщина, мм	$[\sigma]/R_e$	l, мм	Допустимое значение d, мм
1	16	0.7	800	5.5
2			400	7.1
3			200	10.1
По идеологии «Руководства» вне зависимости от l				4.3
1	32	0.7	800	12.3
2			400	16.7
3			200	23.6
По идеологии «Руководства» вне зависимости от l				8.6

Таким образом, учет конечной протяженности участка коррозионного износа позволяет существенно увеличить допустимую его глубину. Для регламентации данного наиболее распространенного типа дефектов основным проблемным моментом является определение максимального напряжения, которое может рассматриваться как допустимое.

При решении задачи используется комплексный подход к проблеме **разрушения трубопровода**, основанный на сочетании методов механики сплошных сред

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

При исследовании разрушения трубопровода в случае подводного разрыва незаглубленного трубопровода учитываются следующие физические и геометрические параметры: * пиковое давление первичной ударной волны, p_{max} (MPa); * пиковое давление вторичной ударной волны, максимальное (МПа); * время подхода в заданную точку первичной волны (начало повышения давления t_0) история явления во времени, t и t_0 (сек).

Давление, связанное с начальным фронтом ударной волны, можно рассчитать, используя следующее уравнение [11]:

$$p = p_{\max(D,W)} \exp\left[\frac{t - t_0}{\vartheta(D,W)}\right] \qquad (8)$$

В открытой литературе доступны соотношения для кривых $p_{\max(D,W)}$ и $\vartheta(D,W)$. Давление, связанное с начальным фронтом ударной волны и длительность импульса давления связаны соотношениями (9):

$$p_{\max(D,W)} = 20.5\left[\frac{W^{\frac{1}{2}}}{D}\right]^{1.95} \quad \text{если} \quad \frac{D}{W^{\frac{1}{2}}} < 0.32$$

$$p_{\max(D,W)} = 52.5\left[\frac{W^{\frac{1}{3}}}{D}\right]^{1.13} \quad \text{если} \quad \frac{D}{W^{\frac{1}{2}}} > 0.32$$

$$\vartheta(D,W) = 0.0001048 \cdot W^{\frac{1}{3}} \cdot \left[\frac{D}{w^{\frac{1}{3}}}\right]^{0.35} \quad \text{если} \quad \frac{D}{W^{\frac{1}{3}}} < 2.7$$

$$\vartheta(D,W) = 0.0001163 \cdot W^{\frac{1}{3}} \cdot \left[\frac{D}{W^{\frac{1}{3}}}\right]^{0.35} \quad \text{если} \quad \frac{D}{W^{\frac{1}{3}}} > 2.7$$

Время прибытия в точку измерения t_0 определяется скоростью ударной волны. Скорость звука в воде (∽1550 м/ с) принята за скорость ударной волны,

Структурная целостность подводного трубопровода, подвергнутого подводному воздействию разрыва имеет первостепенное значение [15].

Реакция трубопровода, подвергнутого воздействию подводного разрыва зависит от возбужденных модальных форм и частотного спектра приложенных сил (ударной волны). Динамика трубопровода может быть проанализирована с помощью анализа частотной характеристики.

Анализ выполняют по следующими этапам: оценка собственной частоты трубопроводной системы; анализ частотного спектра ударных волн давления.

Таблица 3

Анализ реакции трубопровода: собственной частоты и формы мод трубопровода:

$$\begin{cases} \varepsilon_x(x,\vartheta,t) = \dfrac{\partial u}{\partial x} - z\dfrac{\partial^2 w}{\partial x^2} \\ x_\vartheta(x,\vartheta,t) = \dfrac{1}{R}\dfrac{\partial v}{\partial \vartheta} - \dfrac{z}{R\cdot(R+z)}\dfrac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \dfrac{w}{R+z} \\ x_{x\vartheta}(x,\vartheta,t) = \dfrac{\partial v}{\partial x} + \dfrac{1}{R}\dfrac{\partial u}{\partial \vartheta} - \dfrac{2z}{R}\dfrac{\partial^2 w}{\partial \vartheta \partial x} \end{cases} \quad (10)$$

$$\begin{cases} u_{i,j}(x,\vartheta) = A\cdot\cos(i\cdot\vartheta)\cdot\cos\left(\dfrac{j\pi R}{L}\right) \\ v_{i,j}(x,\vartheta) = B\cdot\sin(i\cdot\vartheta)\cdot\sin\left(\dfrac{j\pi R}{L}\right), (i>1) \\ w_{i,j}(x,\vartheta) = C\cdot\cos(i\cdot\vartheta)\cdot\sin\left(\dfrac{j\pi R}{L}\right) \end{cases} \quad (11)$$

Это объединенные модальные модели поведения. После получения истории компонентов смещения во времени, необходимо рассчитать величины напряжений и деформаций.

Локальное и глобальное поведение считаются несвязанными по следующим причинам: глобальные (балочные) естественные периоды колебаний трубопровода значительно выше локальных (оболочечных); в первые миллисекунды после детонации преобладает оболочечное (локальное) поведение, а балочное (глобальное) поведение возникает в последующий период времени. Продольные, кольцевые и сдвиговые деформации и напряжения рассчитываются с использованием обычных формул для оболочек.

Ударная волна, возникающая в результате подводного взрыва, добавляется к существующему гидростатическому давлению [15]. Характер входной ударной волны определяется лабораторными данными, которые были описаны в работах [16,19].

Оценка безопасного расстояния между незаглубленными подводными трубопроводами

Для оценки безопасного расстояния между трубопроводами, можно использовать подход, изложенный в отчете итальянских исследователей [1].

Шаг 1: Определить массу эквивалентного заряда (И), в предположении, что максимальное давление воды *(p,,a)* равно максимальному (допустимому) рабочему давлению газа (100 бар). По формуле (I) из работы [1] имеем:

$$p_{\max=52.5}\left[\frac{W^{0.33333}}{r}\right]^{1.13} \quad (12)$$

$$W = \left(\frac{p_{\max}}{52.5}\right)^{2.655}\cdot r^3 \quad (13)$$

Это выражение позволяет оценить длительность импульса давления (ϑ)

$$\vartheta = 0.0001163W^{0.3333}\left[\frac{H}{W^{0.3333}}\right]^{0.25} \quad (14)$$

где *W*- масса заряда, (кг), P_{max0}-максимальное давление, (М(4)Па), *r*- внешний радиус стальной трубы; *ϑ* - постоянная времени (сек) = длительность импульса давления при подрыве небольшого сферического заряда.

Расстояние между точками цилиндрического заряда и осью параллельного трубопровода (H_c) запишем следующим образом:

$$H_c = c_W t \quad (15)$$

где c_W - скорость звука в воде, *t*- время распространения волны до трубы, начиная от $t_0 = M/c_u$,

Запишем, выражение для приходящего пикового давления, включая коэффициент усиления давления [11]:

$$p_{\max=105}\left[\frac{W^{0.33333}}{c(t-t_0)}\right]^{1.13} \quad (16)$$

Возможность локального повреждения соседнего трубопровода оценивается по двум параметрам: p_{max} и длительности действия давления ударной волны *ϑ* или (t_c - t_o) в зависимости от того, который больше. Время t_c связано с давлением p_{max}= p_{coll} смятия трубы внешним воздействием. Давление смятия трубы p_{coll} рассчитывается по стандарту[3] или в соответствии с руководящими указаниями [5] следующим образом:

$$p_{coll=}\frac{\sigma_y t}{r\left(1+4\cdot\dfrac{\sigma_y r^2}{Et^2}\right)} \quad (17)$$

Падение давления в зоне разрыва оценено в предположении, что волна возмущения (понижения давления) распространяется вдоль трубопровода со скоростью звука в газе (метане). Падение давления в начальный период происходит с нижеследующей интенсивностью. Потери газа через разрыв в трубе будут падать, а вместе с этим будет снижаться интенсивность низкотемпературного воздействия на соседний трубопровод.

[3]APIRP111

$$\Delta p = \left[\frac{(m_g - G)RT_c}{2A_i c} \right], m_g = \frac{p_s}{RT_r} A_i c \quad (18)$$

Здесь: M_g- масса газа из поврежденного участка трубопровода, G- расход газа через разрыв($crl_g\rho_s$c) c= скорость звука в газе, r-внешний радиус трубы, l_g – длина разрыва, ρ_s – плотность газа после расширения), R – универсальная газовая постоянная для метана, T_c – конечная температура после расширения, T_r - температура газа после расширения, A_i – площадь поперечного сечения трубы, p_s- давление окружающей среды,

В то же время, падение давления в зоне разрыва может быть оценено в предположении, что волна возмущения (понижения давления) распространяется воль трубопровода со скоростью звука в газе (метане).

Проектные критерии. Имеющиеся в наличии правила и руководящие принципы проектирования подводного трубопровода не включают в себя критерии проверки, охватывающие структурные последствия подводного взрыва.

Перечислим данные критерии:

1.Критерий на основе вмятин[4]: классифицируемый как незначительное повреждение (D1), ремонт не требуется, но происходит выброс углеводородов. Отношение вмятины к диаметру трубопровода ограничено 5,0%. Предельное состояние (ULS) стенки трубы – наблюдаются значительные пластические деформации, но разрыв стенки трубы не рассматривается. Основным критерием проверки является максимальная эквивалентная деформация, которая должна быть ниже 10% (что соответствует пределу равномерного удлинения).

2.Максимальное напряжение фон Мизеса должно составлять менее 96% SMYS(Минимальный предел текучести) в соответствии с британским стандартом[5] для комбинации функциональных и случайных нагрузок. Критерий, основанный на напряжении: стенки трубопровода не испытывает никаких повреждений из-за подводного взрыва.

3.Трубопровод не должен подвергаться чрезмерной овализации[6], не превышающей 3.0%. Предельные состояния работоспособности (SLS) - это состояния, при которых значение ниже максимальной овализации, приводящей к обрушению трубы при заданном гидростатическом давлении. Критерий, основанный на вмятине учитывает[7] небольшое повреждение (D1) когда ремонт необходим и любой отпуск углеродов происходит. Отношение вмятины к диаметру трубопровода будет ограничено величиной до 5,0%. Это значение ниже максимальной начальной овализации, вызывающей разрушение трубы при гидростатическом давлении.

Следует отметить, что при предельном состоянии первой группы (ULS) стенка трубы испытывает значительные пластические деформации, но разрыв стенки трубы или утечка газа не появляются. Основным критерием проверки является то, что максимальная эквивалентная деформация должна быть ниже 10% (что соответствует равномерному пределу удлинения[8]).

В приводимых работах рассмотрены взрывы незаглубленного подводного трубопровода. Но в целях безопасности и сохранности морские трубопроводы по возможности заглубляют в морское дно.

Выполним анализ разрыва подводного заглубленного трубопровода. Задача анализа разрушения подводного заглубленного трубопровода приводит к рассмотрению сложной модели взаимодействия. Очень важно использовать расчетные программы в связке с принятыми стандартами и методиками («best practices»). ...

Основные принципы построения расчётной **модели подводного трубопровода**.

Расчет подводного трубопровода начинается с построения качественной гексаэдрической сетки.

Общая тема динамического взаимодействия вода-конструкция, связана с динамикой трубопроводной конструкции и гидродинамикой. Каждая из этих двух областей является сложной. Задача взаимодействия становится еще сложнее. Для получения численных решений (связанных) смешанных задач используются вариационные принципы. Многие исследователи пытались применить вариационные функционалы для различных классов задач взаимодействия конструкция - жидкая среда.

Главные уравнения динамической задачи.

Динамический анализ взаимодействия системы грунт-жидкость-конструкция включает все аспекты механики жидкости и твердого тела (взаимодействие текучей (жидкой) структуры (соединение класса I) и взаимодействие грунт-жидкость (соединение типа II)) [2,4,8,10]. Рассмотрим классы связанных систем:

Класс I: содержит задачи, в которых происходит соединение полей взаимодействия через граничные условия или между полями, которые физически похожи, но используются разные процессы дискретизации.

Необходимость использования различной дискретизации вызвана разными причинами (Zienkiewicz и Тейлор [4]):

(1) различные сетки конечных элементов, выгодные для описания разных областей.

[4]DNV RP-F107: “Risk Assessment of Pipeline Protection”, Det Norske Veritas, Norway

[5]British Standard 8010: “Code of Practice for Pipelines – Part 3 Pipeline Subsea: Design, Construction and Installation”

[6]DNV OS-F101: “Submarine Pipeline System”, Det Norske Veritas, Norway.

[7]DNV RP-F107: “Risk Assessment of Pipeline Protection”, Det Norske Veritas, Norway

[8]DNV RP-C204: “Design Against Accidental Loads”, Det Norske Veritas, Norway

(2) различные процедуры сопряжения моделей, сочетания методов и граничных элементов. II класс содержит задачи, в которых различные поля перекрываются (полностью или частично). Здесь происходит соединение с помощью дифференциальных управляющих уравнений, описывающих различные физические явления. Конструкция и жидкость представлены идеализированными моделями. Связанные уравнения движения при пространственной дискретизации представлены двумя наборами дифференциальных уравнений второго порядка [8,11,12,13,15].

Дискретизация модели методом конечных элементов. В моделях жидкость-твердое тело сделаем следующие предположения:

i) жидкость является линейной, сжимаемой и невязкой; ii) течение является безвихревым; iii) между жидкостью и твердым телом нет трения; iv) тепловое воздействие незначительно; v) твердое тело подвергается пластическим деформациям.

Предполагается, что оболочка трубопровода бесконечно длинная и непрерывная. Окружающий грунт принят однородным, изотропным и линейно упругим с константами Ламэ и плотностью ρ. Рассмотрим предположения, принятые в модели:

для несжимаемой жидкости скорость звука, c_m; жидкость принимается бесконечной. Уравнения сводятся к виду:

$$M_s\ddot{u} + C_s\dot{u} + K_s u = f_s - M_s\ddot{d} + LP \quad (19);$$

$$M_f\ddot{P} + C_f\dot{P} + K_f P = f_f - \rho_f L^T\ddot{u} + (d) \quad (20)$$

Здесь обозначено: Ms= матрица массы твердого скелета; C_s = матрица демпфирования по Рэлею; K_S= объемный модуль твердой фазы; L = матрица взаимодействия; P –давление, C_f матрица сжимаемости грунта, M_f = матрица массы жидкости, K_f = объемный модуль жидкости, ρ_f = плотность жидкости, L = матрица взаимодействия, u = перемещение твердой фазы, f_s- коэффициент формы твердого скелета, $f_s = \int_{\Gamma u} N_u^T t d\Gamma + \int_{\Omega} N_u^T \rho b d\Omega$ определяемый с учета функции формы порового давления N_u, Ω - область, Г- граница тела, f_f - коэффициент учитывающий скорость движения жидкости.

Когда силы инерции твердого тела значительны, то по мере увеличения проницаемости уравнение фильтрации (при k→ ∞) сводится к виду:

$$Kp\ P = \rightarrow fp + \hat{M}\ddot{u} \qquad ()$$

Если вклад $\hat{M}\ddot{u}$ мал для определенных частот возбуждения, то уравнения расцепляются. В таких случаях стабильность и точность зависят от скорости волны.

Учитывается условие для воды:

$$\nabla^2 P + \xi'\nabla^2\dot{P} = \ddot{P}/c^2 \quad (21)$$

Линеаризованное уравнение Навье-Стокса (20), $\xi' = 4\mu / 3\rho_f c^2$ где μ- динамическая вязкость жидкости и c^2=K/ρ.

K = Объемный модуль упругости жидкости. Объёмный модуль упругости характеризует способность материала сопротивляться изменению его объёма, не сопровождающемуся изменением формы.

(а) Граничные условия:

i) на движущихся границах (на границе раздела с твердым телом), где жидкость имеет нормальное ускорение $\ddot{u}_n$, n -направление единичной нормали к границе, градиент давления выражен как: $\partial P / \partial n = -\rho_f \ddot{u}_n$;

<u>(б) На фиксированных границах:</u> $\partial P / \partial n = 0$

ii) жесткая структура и сжимаемая жидкость

Рассмотрим случай жесткая конструкция и несжимаемая жидкость. Уравнения (19 и (20) сводятся к:

$$M_f\ddot{P} + C_f\dot{P} + K_f P = -\rho_f L^T\ddot{d}$$

На свободной поверхности без поверхностных волн: P = 0;

iii) на излучающих границах -условие отсутствия отражения волны давления

Не учитывая фильтрацию воды решим задачу о расчете заглубленного трубопровода, учитывая предположения i) - iv).

Пример

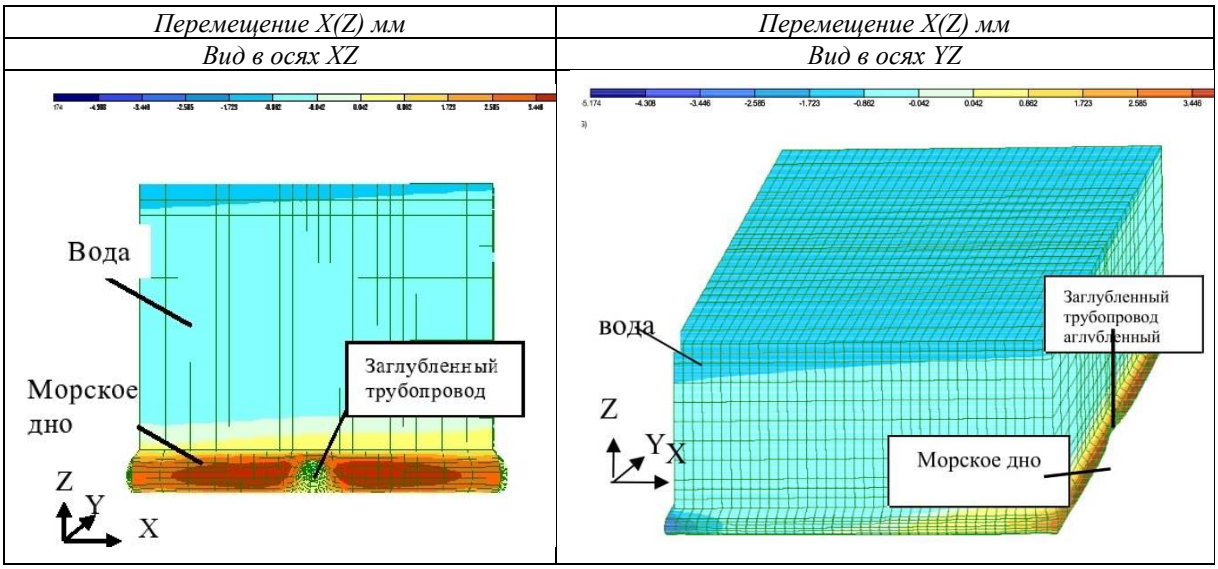

Рис.3. Конечно-элементная модель заглубленного подводного трубопровода

Оценка надежности подводного заглубленного трубопровода. Следует признать, что трубопровод обычно не имеет постоянной вероятности отказа по всей длине. Трубопровод должен быть разделен на секции по таким признакам как: грунтовые условия, покрытие, конструкция, катодная защита, или возраст трубопровода. Интенсивность отказов в определенном участке трубопровода [15,16,17,18] зависит от многих переменных, таких как упомянутые выше признаки и глубина грунтового покрытия, гидростатические испытания, патруль, тренировка, обслуживание, и так далее.

Очень трудно учесть влияние этих переменных на интенсивность отказов, поскольку данных об авариях подводных трубопроводов недостаточно для статистического анализа. Вообще, для анализа риска интенсивность отказов трубопровода оценена по историческим данным.

Для трубопровода высокой прочности общий режим отказа — это пластический дефект, предел пластичности, нагрузка упруго-пластичной конструкции, характеризующаяся максимальной несущей способностью. Конструкции, сконструированные на основании пластичности, позволяют определить реальный запас прочности конструкции.

Таким образом, нагрузка в предел пластичности являются важными параметрами для определения несущей способности трубопровода под давлением, целостности конструкции.

Так как интенсивность отказов трубопровода меняется в зависимости от различных условий вдоль трассы трубопровода, таких как грунтовые условия, вид покрытия, условия проектирования, или возраст трубопровода, то трубопровод необходимо разделить на участки, в пределах которых эти условия мало изменяются. В предположении о интенсивности отказов в пределах участка трубопровода, индивидуальный риск может быть оценен по следующему уравнению:

$$IR = \sum_i \varphi_i \int_0^L P_i dL \qquad (22)$$

Интенсивность отказов трубопровода для каждого сценария аварии оценивается:

$$\varphi_i = \sum_j \varphi_{i,j,0} K_j \left(a_1, a_2, a_{3,\ldots}\right) \qquad (23)$$

где φ_i- ожидаемая интенсивность отказов на единицу длины трубопровода (1 / год km), $j_{i,j,0}$ основная интенсивность отказов по длине участка трубопровода (1/год км), K_j -корректирующая функция, связанная с причиной разрушения, где a_k- переменные функции коррекции, индекс i, обозначающий конкретный сценарий аварии (например, небольшое, среднее и большое отверстие в трубопроводе), а индекс j обозначает причины сбоя (например, внешние помехи, дефекты конструкции, коррозия, движение грунта и другие. Интенсивность отказов трубопровода имеет размерность числа отказов в год на единицу длины трубопровода, 1/год км, при условии однообразности признаков вдоль исследуемого участка трубопровода.

Частотный анализ ударной волны давления. Для оценки предела упругости трубы или предельных состояний работоспособности до любого разрыва стенки трубы или утечки газа используется частотный анализ [3,7,20]. В основе данного метода используется преобразование Фурье (математическое преобразование, используемое для преобразования сигналов между временной (пространственной) и частотной

областью). Метод позволяет уменьшить зависящую от времени функцию g(t) в линейной комбинации простых периодических функций[9]:

$$g(t)=\int_{-\infty}^{+\infty} G(i\omega)\cdot e^{-2\omega t}d\omega \qquad (24)$$

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

1. Сопротивление заглубленного трубопровода поперечному сдвигу.

Расчет проводится по формуле (1) для 14-дюймового и 30-дюймового трубопроводов при минимальной высоте покрытия:

$p_u=\gamma_h N_{qh} D$=9·0.753·10·0.506 кН/м ;

$p_u=\gamma_h N_{qh} D$=9·0.971·12·0.942кН/м

2 Локальное поведение трубопровода при воздействии импульса ударной волны 14-дюймовый трубопровод:

$$W=\left(\frac{p_{\max}}{52.5}\right)^{2.655}\cdot r^3=\left(\frac{10}{52.5}\right)^{2.655}\cdot 0.178^3=0.000069 \text{ кг}$$

$$\vartheta=0.0001163W^{0.3333}\left[\frac{H}{W^{0.3333}}\right]^{0.25}=0.000013\text{сек}(0{,}000016\text{сек}) \qquad (1)$$

$$t_c=t-t_0=\frac{\dfrac{61.48W^{0.3333}}{c}}{r\left(1+4\cdot\dfrac{\sigma_y r^2}{Et^2}\right)^{0.885}}=0.00018 \text{ сек}; \quad p_{coll}=\frac{\sigma_y t}{r\left(1+4\cdot\dfrac{\sigma_y r^2}{Et^2}\right)}=4.19$$

2 МПа

Следует отметить, что давление, оказываемое струей на трубопровод, при минимальных разнесениях трубопроводов в 2 м и 5 м, не превышает одной шестой давления смятия для 14-дюймового трубопровода при допущении, что максимальная глубина коррозии 3 мм.

С точки зрения локального анализа напряжений, не вызывает сомнения тот факт, что разрыв газопровода не способен вызвать местные повреждения соседней параллельно уложенной 14-дюймовой трубы.

Примечание: первое значение - для разнесения 2 м, а второе (в скобках) – для разнесения трубопроводов 5 м,

30-дюймовый трубопровод:

$$W=\left(\frac{p_{\max}}{52.5}\right)^{2.655}\cdot r^3=\left(\frac{10}{52.5}\right)^{2.655}\cdot 0.381^3=0.000677 \text{ кг}$$

$$\vartheta=0.0001163W^{0.3333}\left[\frac{H}{W^{0.3333}}\right]^{0.25}=0.000025\text{сек}(0{,}000028\text{сек}) \qquad (1)$$

$$t_c=t-t_0=\frac{\dfrac{61.48W^{0.3333}}{c}}{r\left(1+4\cdot\dfrac{\sigma_y r^2}{Et^2}\right)^{0.885}}=0.00061 \text{ сек}; \quad p_{call}=1{,}30\text{МПа}(0{,}462 \text{ МПа})$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

В настоящей статье рассматривается случай продольного разрушения трубопровода как наиболее типичный. Кольцевые разрушения игнорируются как маловероятные и не приводящие к повреждению соседнего трубопровода.

[9] Herbert l. G., George A, A Pipeline Fast Fourier Transform, IEEE transactions on computers, vol. C-19, no. 11, November 1970, pp.1015-1019

ЛИТЕРАТУРА(REFERENCES)

1. Helgaker F.J., Tor Y., Energy equation in 1D gas pipeline flow – effect of tur bulent dissipation. Main author. Jan Fredrik Helgaker, Polytec R&D Institute, Haugesund, Norwegian University of Science and Tec hnology, Norway, Trondheim, 16p.

2.Li X., Chen Guoming, ZhangR., Hongwei Zhu, Jianmin Fu, Simulation and assessment of underwater gas release and dispersion from subsea gas pipelines leak, Journal Process Safety and Environmental Protection, Vol. 119, 2018, pp. 46-57, doi: 10.1016/j, 13p.

3.Xinhong Li, Guoming Chen, Hongwei Zhu, Changhang Xu, Gas dispersion and deflagration above sea from subsea release and its impact on offshore platform, June 2018 Ocean Engineering 163:157-168 DOI: 10.1016/j.oceaneng.2018.05.059

4.Taylor R.L., Nithiarasu P., Zienkiewicz O.C., The finite element method for fluid dynamics, Elsevier Ltd, Seventh edition, 2014,553p.

5. Young-Do Jo, Daniel A. Crowl, Journal of Loss Prevention in the Process Industries, Individual risk analysis of high-pressure natural gas pipelines, Volume 21, Issue 6, 2008, Pages 589-595, https://doi.org/10.1016/j.jlp.2008.04.006, 24p

6.Зорин, А.Е. Разрушение трубных сталей после длительной эксплуатации и упругопластического деформирования / А.Е. Зорин, А.В. Мурадов // Нефть, газ и бизнес. –2009.– №11.– С. 63-64.

7. В.С. Сафонов, С.В. Ганага, Моделирование физических эффектов при аварийных разрывах подводных газопроводов, Научно-технический сборник · ВЕСТИ ГАЗОВОЙ НАУКИ, № 3 (14) / 2013, с. 212-219.

8. Al-Damluji, Omar Al-Farouk Salem; Al-Sa'aty, Akram Younis Thannon; and Al-Nu'aimy, Rafi' Mahmoud Sulaiman, "Effects of Internal Gas Explosion on an Underwater Tunnel Roof" (2010). International Conferences on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics, 21p, https://scholarsmine.mst.edu/icrageesd/05icrageesd/session06/7.

9. Lorenzo M. B., Molinari C., MarchionnL., Parrella A., Effects of underwater explosion on pipeline integrity, Proceedings of the ASME 34th International conference on ocean, offshore and arctic engineeringOMAE2015, St. John's, Newfoundland, Canada, DOI: 10.1115/OMAE2015-41092,16p.

https://www.researchgate.net/publication/276241513_Effect_of_Underwater_Explosion_on_Pipeline_Integrity/stats

10. Xinhong Li, Guoming Chen, Renren Zhang, Hongwei Zhu, Jianmin Fu, Simulation and assessment of underwater gas release and dispersion from subsea gas pipelines leak, Journal Process Safety & Environmental Protection: Transactions of the Institution of Chemical Engineers Part B. 2018, Vol. 119, pp. 46-57. 12p. DOI: 10.1016/j.psep.2018.07.015

11. Hongye Jiang, Taolong Xu, Dongye Zhao, Dynamic response and limit analysis of buried high-pressure gas pipeline under blasting load based on the Hamilton principle, Journal of vibroengineering, 2017, vol. 19, issue 1. pp. 376-393. doi. https://doi.org/10.21595/jve.2016.17066, 18стр.

12. Lorenzo M. B., Lorenzo Marchionni, Molinari C., Parrella A., Effects of underwater explosion on pipeline integrity, ASME 34th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering OMAE2015, 2015, St. John's, Canada, DOI: 10.1115/OMAE2015-41092

https://www.researchgate.net/publication/276241513_Effect_of_Underwater_Explosion_on_Pipeline_Integrity/stats, 16p.

13.Corigliano A., Massimiliano Bocciarelli, Monti P., Molinari C., Mariani S., Structural Integrity Assessment of a Pipeline Subjected to an Underwater Explosion, Volume 4: Pipeline and Riser Technology, 2011p.

14. И.В.Горынин, Материалы для судостроения и морской техники: Справ.: В 2 т. Е1/ Под ред. И.В.Горынина. –СПб:НПО «Профессионал».-776с. (с.690)

15. Sulfredge C.D., Morris R.H. ,. Sanders Oak R. L, Calculating the effect of surface or underwater explosions on submerged equipment and structures, 2008, National Laboratory Building 5700, MS-6085, Oak Ridge, 14p,

https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.129.8805&rep=rep1&type=pdf

16. Paolo M., Molinari C., Bocciarelli M., Corigliano A., Mariani S., Structural integrity assessment of a pipeline subjected to an underwater explosion, Proceedings of the ASME 2011, 30th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering, Rotterdam, DOI: 10.1115/OMAE2011-49178, https://www.researchgate.net/publication/267648854_Structural_Integrity_Assessment_of_a_Pipeline_Subjected_to_an_Underwater_Explosionhttps://www.researchgate.net/profile/Caterina_Molinari?_sg%5B0%5D=N-gvo3-szF_UzpMFKxopD_Rj11UVBK8eMVHSfndiA-iBOmHLHoLzMOc4R_4QAJxMzQ0V2Ww.cWXykJD162lIHCgx2VeE7lS_i_d3nef2BxARywEftBfeQiv33jsJ5kU-NxM1MI_qPv8OGoRCO_VmR3awyLsgMQ&_sg%5B1%5D=RNFk2ikjp18wReu-A1Wkt1NoHuvFnG28zzncXLbx-06NhpBYP3Qe1QnZAqZB45sfy7OTwAw.lLxtNM4KDjFnvPtfOUY8iHRuC480KB3GioaUSObvnQz8uZS44R3PIwBgdgshm41FNUvaDpFAaVRrbdBcGoFMtQ

17. Edited by Sebastian Martorell , Carlos Guedes Soares , Julie Barnett, Safety, reliability and risk analysis: theory, methods and applications, Proceedings of the (ESREL and SRA-Europe (Society for Risk Analysis Europe) European safety and reliability conference (Valencia, Spain,2008, CRC Press Taylor and Francis Group, London, United Kingdom, 3510p.

18. Daniel Jato-Espino, Elena Castillo-Lopez, Jorge Rodriguez-Hernandez, Juan Carlos Canteras-Jordana, A review of application of multi-criteria decision making methods in construction, Journal Automation in Construction, 2014, №45:pp.151–162, DOI: 10.1016/j.autcon.2014.05.013.

19. Dowding C. H., Construction Vibrations 2nd Edition, Intl Society of Explosives; 2 edition (2000), 610 pages

20. Edward D. Esparza, Measurement of Transient Stresses, Journal experimental techniques, 2017, Volume 8, Issue 12, pp 38–39, doi.org/10.1111/j.1747-1567.1984.tb01862.x

19. Nelly P.R., Roehl D., Romanel C., A three dimensional contact model for soil-pipe interaction and Structures, Journal of Mechanics of Materials Vol. 2, No. 8, 2007, Mathematical sciences publishers,16p., https://msp.org/jomms/2007/2-8/jomms-v2-n8-p09-p.pdf

21. Bathe K.J., Nitikitpaiboon C., Xiaodong Sheldon Wang, A mixed displacement-based finite element formulation for acoustic fluid-structure interaction, 1995,Journal Computers & Structures, n. 56(2-3), pp.225-237, DOI: 10.1016/0045-7949(95)00017-B

22.Lorenzo M. B., MolinariC., MarchionniL., Parrella A., Effects of underwater explosion, 34th International Conference on Ocean, Offshore Mechanics and Arctic Engineering, At: St. John's, Newfoundland, Canada, OMAE 2015. DOI: 10.1115/OMAE2015-41092, 16 p.

(REFERENCES)

1. Helgaker F.J., Tor Y., Energy equation in 1D gas pipeline flow – effect of tur bulent dissipation. Main author. Jan Fredrik Helgaker, Polytec R&D Institute, Haugesund, Norwegian University of Science and Tec hnology, Norway, Trondheim, 16p.

2.Li X., Chen Guoming, ZhangR., Hongwei Zhu, Jianmin Fu, Simulation and assessment of underwater gas release and dispersion from subsea gas pipelines leak, Journal Process Safety and Environmental Protection, Vol. 119, 2018, pp. 46-57, doi: 10.1016/j, 13p.

3.Xinhong Li, Guoming Chen, Hongwei Zhu, Changhang Xu, Gas dispersion and deflagration above sea from subsea release and its impact on offshore platform, June 2018 Ocean Engineering 163:157-168 DOI: 10.1016/j.oceaneng.2018.05.059

4.Taylor R.L., Nithiarasu P., Zienkiewicz O.C., The finite element method for fluid dynamics, Elsevier Ltd, Seventh edition, 2014,553p.

5. Young-Do Jo, Daniel A. Crowl, Journal of Loss Prevention in the Process Industries, Individual risk analysis of high-pressure natural gas pipelines, Volume 21, Issue 6, 2008, Pages 589-595, https://doi.org/10.1016/j.jlp.2008.04.006, 24p

6. Zorin, A. E. Destruction of pipe steels after long-term operation and elastic-plastic deformation / A. E. Zorin, A.V. Muradov / / Oil, gas and business. - 2009.- No. 11. Pp. 63-64.(rus)

7. V.S. Safonov, S.V. Ganaga, Modelirovanie fizicheskix e`ffektov pri avarijny`x razry`vax podvodny`x gazoprovodov, Nauchno-texnicheskij sbornik • VESTI GAZOVOJ NAUKI, № 3 (14) / 2013, s. 212-219.

8. Al-Damluji, Omar Al-Farouk Salem; Al-Sa'aty, Akram Younis Thannon; and Al-Nu'aimy, Rafi' Mahmoud Sulaiman, "Effects of Internal Gas Explosion on an Underwater Tunnel Roof" (2010). International Conferences on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics, 21p, https://scholarsmine.mst.edu/icrageesd/05icrageesd/session06/7.

9. Lorenzo M. B., Molinari C., MarchionnL., Parrella A., Effects of underwater explosion on pipeline integrity, Proceedings of the ASME 34th International conference on ocean, offshore and arctic engineeringOMAE2015, St. John's, Newfoundland, Canada, DOI: 10.1115/OMAE2015-41092,16p.

https://www.researchgate.net/publication/276241513_Effect_of_Underwater_Explosion_on_Pipeline_Integrity/stats

10. Xinhong Li, Guoming Chen, Renren Zhang, Hongwei Zhu, Jianmin Fu, Simulation and assessment of underwater gas release and dispersion from subsea gas pipelines leak, Journal Process Safety & Environmental Protection: Transactions of the Institution of Chemical Engineers Part B. 2018, Vol. 119, pp. 46-57. 12p. DOI: 10.1016/j.psep.2018.07.015

11. Hongye Jiang, Taolong Xu, Dongye Zhao, Dynamic response and limit analysis of buried high-pressure gas pipeline under blasting load based on the Hamilton principle, Journal of vibroengineering, 2017, vol. 19, issue 1. pp. 376-393. doi. https://doi.org/10.21595/jve.2016.17066, 18стр.

12. Lorenzo M. B., Lorenzo Marchionni, Molinari C., Parrella A., Effects of underwater explosion on pipeline integrity, ASME 34th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering OMAE2015, 2015, St. John's, Canada, DOI: 10.1115/OMAE2015-41092

https://www.researchgate.net/publication/276241513_Effect_of_Underwater_Explosion_on_Pipeline_Integrity/stats, 16p.

13.Corigliano A., Massimiliano Bocciarelli, Monti P., Molinari C., Mariani S., Structural Integrity Assessment of a Pipeline Subjected to an Underwater Explosion, Volume 4: Pipeline and Riser Technology, 2011p.

14. Gory`nin I.V., Materialy` dlya sudostroeniya i morskoj texniki: Sprav.: V 2 t. E1/ Pod red. I.V.Gory`nina. –SPb:NPO «Professional».-776s. (p.690)

15. Sulfredge C.D., Morris R.H. ,. Sanders Oak R. L, Calculating the effect of surface or underwater explosions on submerged equipment and structures, 2008, National Laboratory Building 5700, MS-6085, Oak Ridge, 14p,

https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.129.8805&rep=rep1&type=pdf

16. Paolo M., Molinari C., Bocciarelli M., Corigliano A., Mariani S., Structural integrity assessment of a pipeline subjected to an underwater explosion, Proceedings of the ASME 2011, 30th

International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering, Rotterdam, DOI: 10.1115/OMAE2011-49178, https://www.researchgate.net/publication/267648854_Structural_Integrity_Assessment_of_a_Pipeline_Subjected_to_an_Underwater_Explosionhttps://www.researchgate.net/profile/Caterina_Molinari?_sg%5B0%5D=N-gvo3-szF_UzpMFKxopD_Rj11UVBK8eMVHSfndiA-iBOmHLHoLzMOc4R_4QAJxMzQ0V2Ww.cWXykJD162lIHCgx2VeE7lS_i_d3nef2BxARywEftBfeQiv33jsJ5kU-NxM1MI_qPv8OGoRCO_VmR3awyLsgMQ&_sg%5B1%5D=RNFk2ikjp18wReu-A1Wkt1NoHuvFnG28znncXLbx-06NhpBYP3Qe1QnZAqZB45sfy7OTwAw.lLxtNM4KDjFnvPtfOUY8iHRuC480KB3GioaUSObvnQz8uZS44R3PIwBgdgshm41FNUvaDpFAaVRrbdBcGoFMtQ

17. Edited by Sebastian Martorell , Carlos Guedes Soares , Julie Barnett, Safety, reliability and risk analysis: theory, methods and applications, Proceedings of the (ESREL and SRA-Europe (Society for Risk Analysis Europe) European safety and reliability conference (Valencia, Spain,2008, CRC Press Taylor and Francis Group, London, United Kingdom, 3510p.

18. Daniel Jato-Espino, Elena Castillo-Lopez, Jorge Rodriguez-Hernandez, Juan Carlos Canteras-Jordana, A review of application of multi-criteria decision making methods in construction, Journal Automation in Construction, 2014, №45:pp.151–162, DOI: 10.1016/j.autcon.2014.05.013.

19. Dowding C. H., Construction Vibrations 2nd Edition, Intl Society of Explosives; 2 edition (2000), 610 pages

20. Edward D. Esparza, Measurement of Transient Stresses, Journal experimental techniques, 2017, Volume 8, Issue 12, pp 38–39, doi.org/10.1111/j.1747-1567.1984.tb01862.x

21. Nelly P.R., Roehl D., Romanel C., A three dimensional contact model for soil-pipe interaction and Structures, Journal of Mechanics of Materials Vol. 2, No. 8, 2007, Mathematical sciences publishers,16p., https://msp.org/jomms/2007/2-8/jomms-v2-n8-p09-p.pdf

22. Bathe K.J., Nitikitpaiboon C., Xiaodong Sheldon Wang, A mixed displacement-based finite element formulation for acoustic fluid-structure interaction, 1995,Journal Computers & Structures, n. 56(2-3), pp.225-237, DOI: 10.1016/0045-7949(95)00017-B

ЕВРАЗИЙСКИЙ СОЮЗ УЧЕНЫХ (ЕСУ)

Ежемесячный научный журнал
№ 3 (72)/ 2020
1 часть

Редакционная коллегия:

д.п.н., профессор Аркулин Т.В. (Москва, РФ)

Члены редакционной коллегии:

- Артафонов Вячеслав Борисович, кандидат юридических наук, доцент кафедры экологического и природоресурсного права (Москва, РФ);
- Игнатьева Ирина Евгеньевна, кандидат экономических, преподаватель кафедры менеджмента (Москва, РФ);
- Кажемаев Александр Викторович, кандидат психологических, доцент кафедры финансового права (Саратов, РФ);
- Кортун Аркадий Владимирович, доктор педагогических, профессор кафедры теории государства и права (Нижний Новгород, РФ);
- Ровенская Елена Рафаиловна, доктор юридических наук, профессор, заведующий кафедрой судебных экспертиз, директор Института судебных экспертиз (Москва, Россия);
- Селиктарова Ксения Николаевна (Москва, Россия);
- Сорновская Наталья Александровна, доктор социологических наук, профессор кафедры социологии и политологии;
- Свистун Алексей Александрович, кандидат филологических наук, доцент, советник при ректорате (Москва, Россия);
- Тюменев Дмитрий Александрович, кандидат юридических наук (Киев, Украина)
- Варкумова Елена Евгеньевна, кандидат филологических, доцент кафедры филологии
- (Астана, Казахстан);
- Каверин Владимир Владимирович, научный сотрудник архитектурного факультета, доцент (Минск, Белоруссия)
- Чукмаев Александр Иванович, доктор юридических наук, профессор кафедры уголовного права (Астана, Казахстан)

Ответственный редактор
д.п.н., профессор Каркушин Дмитрий Петрович (Москва, Россия)

Художник: Косыгин В.Т
Верстка: Зарубина К.Л.

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций.

Статьи, поступающие в редакцию, рецензируются. За достоверность сведений, изложенных в статьях, ответственность несут авторы. Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов материалов. При перепечатке ссылка на журнал обязательна. Материалы публикуются в авторской редакции.

Адрес редакции:
г.Москва, Лужнецкая набережная 2/4, офис №17, 119270 Россия
E-mail: info@euroasia-science.ru ;
www.euroasia-science.ru
Учредитель и издатель ООО «Логика+»

Тираж 1000 экз.
Отпечатано в типографии г.Москва, Лужнецкая набережная 2/4, офис №17, 119270 Россия