

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
"МУРМАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ"
ФАКУЛЬТЕТ АРКТИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ**

НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ В АРКТИЧЕСКОМ РЕГИОНЕ
МАТЕРИАЛЫ МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
(Мурманск, 3–7 апреля 2017 г.)

Мурманск
Издательство МГТУ
2017

УДК 001: [5+62] (08)

ББК 20+3я431

Н 34

Редакционная коллегия:

М. В. Васеха, канд. техн. наук;

С. В. Власова, д-р филос. наук, доцент;

М. А. Волков, канд. физ.-матем. наук, доцент (ответственный за выпуск);

С. Ю. Буряченко, заведующая кафедрой;

Н. Е. Козлов, д-р геол.-минерал. наук, профессор;

В. С. Мальшев, канд. техн. наук, доцент;

О. А. Федорова, канд. техн. наук, доцент

Н 34 Наука и образование в Арктическом регионе : мат. междунар. науч.-практ. конф., Мурманск, 3–7 апреля 2017 г. / Федер. гос. бюджетное образоват. учреждение высш. образования "Мурм. гос. техн. ун-т". – Мурманск : Изд-во МГТУ, 2017. – 260 с. : ил.

ISBN 978-5-86185-941-7

В сборнике опубликованы доклады участников Международной научно-практической конференции "Наука и образование в Арктическом регионе", которая состоялась 3–7 апреля 2017 г. в Мурманском государственном техническом университете.

Издание предназначено для научных, научно-педагогических работников, докторантов, аспирантов, специалистов, ведущих научные исследования по направлениям работы конференции.

УДК 001: [5+62] (08)

ББК 20+3я431

© Мурманский государственный
технический университет, 2017

ISBN 978-5-86185-941-7

СОДЕРЖАНИЕ

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОСВОЕНИЯ АРКТИЧЕСКОГО ШЕЛЬФА..... 6

Управление рисками функционирования нефтегазовой трубопроводной арматуры	7
Герасимова О. В.	
Расчет ореола прогрева пласта при паротепловой обработке	15
Дарбинян А. З., Коротаев Б. А.	
Проблема изменения ледовой обстановки и климата в Арктике – важный фактор при проектировании нефтегазовых сооружений	22
Захаренко В. С., Николайчук Д. В.	
Расчет бурильной колонны для бурения на акватории	29
Котов А. А., Коротаев Б. А.	
Есть ли место для российской техники в современных сейсморазведочных работах?	37
Пантилеев С. П.	

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В АРКТИКЕ 47

Структуры косых альвеновских волн в неоднородной холодной магнитосферно-ионосферной плазме	48
Волков М. А.	
Оценка местоположения области выхода магнитосферных СНЧ/ОНЧ излучений по данным наземных наблюдений.....	54
Никитенко А. С., Лебедь О. М., Пильгаев С. В., Ларченко А. В., Федоренко Ю. В.	
Взаимосвязь ориентации поперечной анизотропии мелкомасштабных неоднородностей и горизонтального ветра в F-области субавроральной ионосферы	64
Романова Н. Ю.	

НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ В АРКТИЧЕСКОМ РЕГИОНЕ – ПРОБЛЕМЫ ГЕОЛОГИИ..... 69

Рудопроявление золота Няльм-1 в поясе Колмозеро-Воронья: геологические и минералого-геохимические особенности.....	70
Калинин А. А., Бакаев Г. Ф.	
Альтернативный подход к исследованию минералого-геохимических характеристик пород: на примере редкоземельных карбонатитов г. Петяйян-вара (массив Вуориярви, Кольский регион).....	77
Козлов Е. Н., Фомина Е. Н., Мыца Д. Д., Киркин В. В.	
Возможная причина своеобразия состава пород Кейвского домена (Кольский полуостров)	82
Козлов Н. Е., Фомина Е. Н., Мартынов Е. В., Сорохтин Н. О., Марчук Т. С.	
Выпуклые оболочки и реконструкция геодинамических режимов (геохимический аспект)	89
Мартынов Е. В., Марчук Т. С.	

Новая парадигма геологического строения Печенгско-Варзугского пояса.....	93
Скуфьин П. К.	
Особенности геологии и геохимии вулканогенных структур Южнопеченгской зоны	100
Скуфьин П. К., Елизаров Д. В., Серов П. А., Баянова Т. Б.	

**ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЕСТЕСТВЕННОНАУЧНОГО
И ТЕХНИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ..... 105**

Обучение студентов электротехнического и электроэнергетического направления в европейских вузах с высоким мировым рейтингом (по методологии QS)	106
Власова С. В.	
Использование научно-популярной литературы в курсе физики в техническом университете	113
Никонов О. А., Шолохов В. С., Ботова М. Г.	

**ТЕХНОЛОГИИ СТРОИТЕЛЬСТВА В УСЛОВИЯХ АРКТИКИ:
ИЗУЧЕНИЕ ОПЫТА И РАЗВИТИЕ НОВЫХ НАПРАВЛЕНИЙ..... 120**

Влияние армирования грунта засыпки на несущую способность и устойчивость анкерной подпорной стены	121
Антонов В. М., Артющкин П. А., Шишов Д. М.	
Влияние модифицированной базальтовой микрофибры на свойства жаростойкого вермикулитобетона.....	125
Бастрыгина С. В., Конохов Р. В.	
Сравнительный минералогический анализ золотых от сжигания водоугольного топлива при различных способах углеподготовки.....	131
Белогурова Т. П., Нерадовский Ю. Н., Миханошина И. А.	
Особенности функционирования ориентированных стружечных плит в обшивках крыш и стен.....	137
Гаврилов Т. А. Колесников Г. Н.	
Актуальность применения древесины как строительного материала в современных условиях производства.....	143
Глушко Е. Н.	
Сравнительный анализ жесткостей железобетонной балки, найденных разными способами	151
Котов А. А.	
Вспененные теплоизоляционные материалы из техногенного сырья Мурманской области.....	158
Манакова Н. К., Суворова О. В.	
Пути повышения энергоэффективности ограждающих конструкций зданий.....	162
Пак А. А., Сухорукова Р. Н.	
К вопросу обеспечения строительной отрасли Мурманской области вяжущими материалами	167
Тюкавкина В. В., Гуревич Б. И.	

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ 173

- Кристаллизация водной фазы в обратных эмульсиях при транспортировке нефти в трубопроводе, как процесс, предшествующий образованию гидратных отложений 174
Бричка К. М., Колотова Д. С., Деркач С. Р., Simonsen G., Simon S. Sjöblom J.
- Экологические аспекты реализации концепции "Зелёного строительства" в Арктической зоне 180
Васильева Ж. В.
- Оценка качества воды из родника в п. Причалное в период с 2014 по 2017 гг. 187
Глазова В. А. Гапоненков И. А Федорова О. А.
- Перспективные технологии реабилитации нефтезагрязненных почв в Арктической зоне 193
Горбовская Т. Д., Васильева Ж. В.
- Применение резиновой крошки в качестве сорбента при аварийных разливах нефти на трубопроводах Арктического шельфа 200
Карандашев С. Е., Широлина А. Ю.
- Системы управления экологической безопасностью прибрежных зон в международной практике 205
Крашевская А. А., Федорова О. А.
- Инновационные подходы переработки липидсодержащих рыбных отходов..... 211
Куркотило В. Н., Васильева Ж. В.
- Влияние температуры обжига вермикулита на его сорбционные свойства..... 217
Мосендз И. А., Кременецкая И. П., Дрогобужская С. В.
- Анализ последствий утилизации бурового раствора под грунтом в лабораторных условиях 224
Николайчук Д. В.
- Оценка чувствительности растительных тест-культур на антропогенное загрязнение почвы..... 231
Яшкина А. А., Беляева Г. А.

ЭНЕРГЕТИКА И ТРАНСПОРТ 236

- Анализ аварийности российских морских судов (2014–2016 гг.). 237
Бурзун М. С.
- Энергосбережение при использовании СПГ 242
Пантिलеев С. П.
- Проблематика энергоэффективности работы компрессорных станций..... 254
Черепанов А. В.

**АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОСВОЕНИЯ
АРКТИЧЕСКОГО ШЕЛЬФА**

Управление рисками функционирования нефтегазовой трубопроводной арматуры

Герасимова О. В. (г. Мурманск, ФГБОУ ВО "Мурманский государственный технический университет", кафедра морского нефтегазового дела)

Аннотация. Анализ причин и последствий отказов нефтегазовой трубопроводной арматуры.

Abstract. Failure modes and effects analysis pipeline fittings for oil and gas.

Ключевые слова: риск-ориентированное мышление, импортозамещение, трубопроводная арматура, шаровые краны, расчет.

Новейшие технологические разработки, применяемые в нефтегазовой отрасли для работы в экстремальных природно-климатических условиях Арктического шельфа, требуют соблюдения полной безопасности и надежности производства. Наиболее эффективными являются подводные добычные комплексы (ПДК), позволяющие добывать углеводороды в сложнейших климатических условиях, без строительства платформ и иных надводных конструкций.

Технологии, используемые при изготовлении оборудования для подводного освоения морских месторождений, находятся на уровне космических и его производством в мире, в основном, занимаются 4 компании, главной из которых является FMC Technologies.

В России существует серьезная зависимость от поставки иностранного оборудования во всех переделах добычи, транспортировки, хранения и переработки нефти и газа. Оборудование для глубоинной добычи нефти и газа с августа 2014 г. – в списке технологий, которые запрещены к поставке в Россию в связи с санкциями США против российских компаний нефтегазовой отрасли и поэтому актуальным становится импортозамещение. Планируется создание отечественной технологии подводной добычи углеводородов. Она будет включать отечественное подводное оборудование и автоматизированную систему управления технологическим процессом и подготовки химических составов. Этот комплекс должен обеспечить добычу углеводородов на шельфе, включая все этапы жизненного цикла: от обустройства до эксплуатации и технического обслуживания.

Первым объектом, где планируется применить отечественный комплекс для подводной добычи углеводородов, должно стать Южно-Киринское месторождение (рис. 1) [3].



Рисунок 1 – Освоение Южно-Киринского месторождения

Для решения задачи по импортозамещению необходима мобилизация и эффективное использование множества ресурсов, в частности: совершенствование научно-технической базы новых материалов, сталей и сплавов, современное технологическое оснащение предприятий, разработка и доработка нормативной базы до лучших мировых стандартов, повышение качества испытательной базы и т. п.

Организация производства оборудования для морской добычи в России в первую очередь требует согласованности отечественной нормативной базы с международными стандартами и должна обеспечить надежную и безаварийную эксплуатацию шельфовых объектов.

Повышение качества испытательной базы требует создания высокоэффективных лабораторий на базе предприятий и ВУЗов, исследовательских центров, занимающихся данными вопросами.

Один из наиболее массовых видов промышленной продукции, которая относится к нефтегазовому оборудованию, является трубопроводная арматура.

Шаровой кран, по сравнению с другими запорными устройствами, является самым популярным (рис. 2, слева). Это обусловлено быстротой закрытия и открытия, надежностью и долговечностью конструкции, возможностью простого внешнего контроля положения запорного органа.

Шаровые краны (рис. 2, справа) используются на нефтепроводах и газопроводах для осуществления перекрытия транспорта среды, в том числе они могут применяться на технологических линиях опасных производств [3].

Министерство промышленности и торговли Российской Федерации утвердило национальный стандарт РФ ГОСТ Р ИСО 9001-2015 "Системы менеджмента качества. Требования", идентичный по отношению к международному стандарту ИСО 9001:2015 (дата введения 1.11.2015г.) Самое главное в новом стандарте – это акцент на риск-ориентированное мышление.



Рисунок 2 – Динамика импорта трубопроводной арматуры в России (слева), кран шаровой запорно-регулирующий DN (справа)

FMEA (Failure modes and effects analysis) – анализ причин и последствий отказов. Метод анализа, применяемый в менеджменте качества для определения потенциальных дефектов изделий и причин их возникновения [1].

Современные технологии добычи и переработки нефти и газа выдвигают повышенные требования к конструкциям и материалам изделий, с целью обеспечения необходимого ресурса их работы и гарантирования технической безопасности. Производственное оборудование нефтегазовой отрасли, как правило, работает в условиях значительных механических нагрузок, высоких давлений и температур и подвергается воздействию различных агрессивных сред.

Согласно правилам Регистра [2], снижение риска может достигаться мерами уменьшающими вероятность возникновения аварий и ограничивающими тяжесть и последствия аварий. Рекомендации по снижению риска являются одним из основных результатов анализа риска.

В процессе эксплуатации, большинство запорно-регулирующей арматуры, используемой в нефтегазовой отрасли, испытывает виды воздействий, перечисленных в схеме на рис. 3.

Среди множества разрушительных воздействий наиболее существенными являются перепады давления и температуры. В процессе эксплуата-

ции наблюдаются резкие изменения давления, значительно превышающие рабочее (рис. 4), что свидетельствует о возникновении в системе гидроудара.

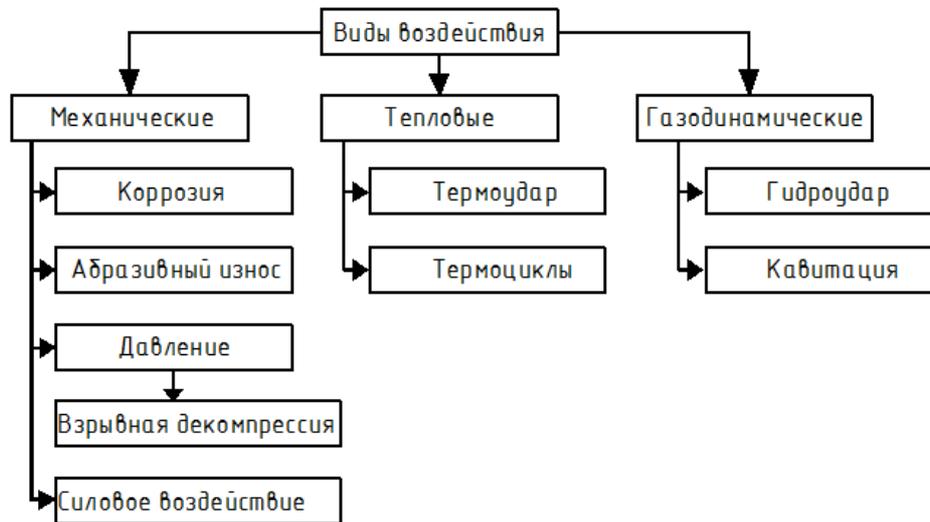


Рисунок 3 – Виды воздействий на запорно-регулирующую арматуру, используемую в нефтегазовой отрасли

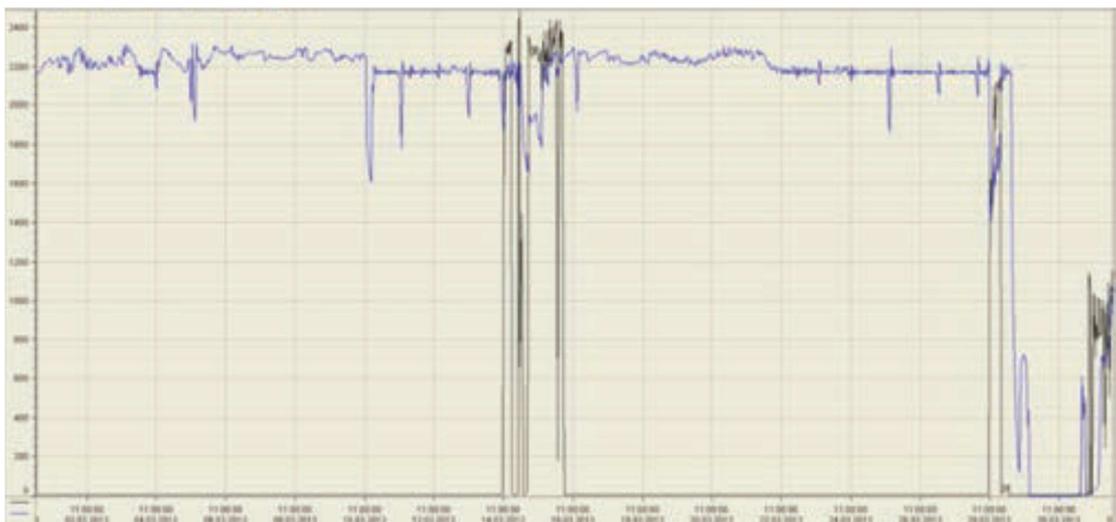


Рисунок 4 – Изменения давления в процессе эксплуатации запорно-регулирующей арматуры

В большинстве случаев основной причиной гидроудара в трубопроводной системе, является срабатывание отсечной арматуры, которая моментально перекрывает поток, создавая при этом ударную волну в системе, которая в свою очередь приводит к возникновению напряжений растяжения-сжатия и повреждению различных рабочих элементов арматуры. Величина гидроудара зависит от ряда конструкторско-технологических параметров, например: скорости течения жидкости, ее вязкости, размеров поточной части и т. д. [4].

Математическое моделирование гидроудара в запорно-регулирующей арматуре основано на уравнении Навье-Стокса [4].

Во время эксплуатации шаровых кранов инженеры также сталкиваются с явлением взрывной декомпрессии, выражающейся в разрушении уплотнения, с отрывом от него сегмента и соответственно с выходом крана из строя. Данное событие возможно во время открытия крана, при условии перепада давления, в сочетании с геометрическими размерами и конструкцией уплотнения (рис. 5).

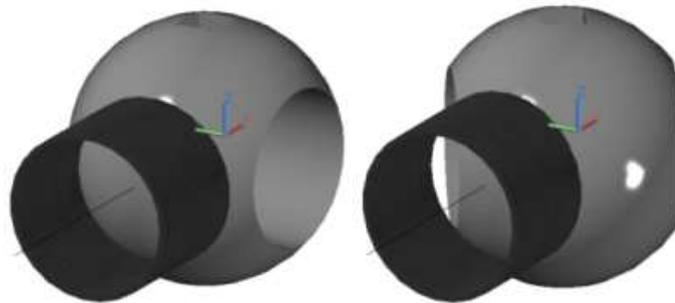


Рисунок 5 – Положение рабочей пробки шарового крана в состоянии "закрыто" (слева) и состоянии открытия (справа)

При проектировании уплотнительного узла шарового крана усилие поджатия уплотнительных элементов должно в обязательном порядке рассчитываться не только с учетом давления рабочей среды, но и с учетом возможно деформации запорных органов.

В настоящее время уплотнения сёдел изготавливают из органических материалов, чаще всего из фторопласта или синтетического каучука. Помимо решения вопросов, связанных с плотностью закрытия потоков, использование полимеров позволяет существенно снизить усилия, необходимые для управления краном за счет малой чувствительности этих материалов к перекосам и несоосностям конструкции кранов, за счет низкого модуля упругости материалов и низкого коэффициента трения (рис. 6) [3].



Рисунок 6 – Конструкция седла шарового крана (слева), увеличенные фрагменты (справа)

Результирующая сила F , прижимающая седло к пробке (рис. 7), равна

$$F = \frac{\pi}{4} (D_k^2 - D_y^2) \Delta p + F_{\text{пр}} - f_k \pi D_k d_k \Delta p, \quad (1)$$

где, p_n – номинальное давление;

D_k – внешний диаметр резинового уплотнительного кольца;

d_0 – диаметр отверстия;

D_y – средний диаметр уплотнения;

d_k – диаметр сечения резинового кольца;

f_k – коэффициент трения материала кольца, $\Delta p = p_n - p_0$.

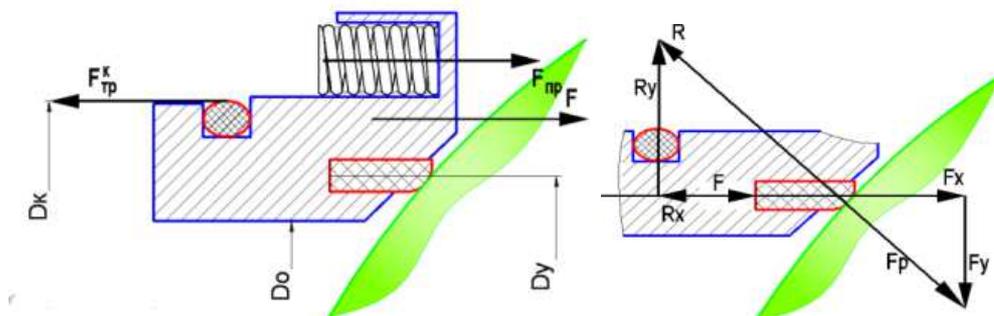


Рисунок 7 – Силы, действующие на седло (слева) и на уплотнение (справа) при закрытой пробке

Баланс сил, действующих на уплотнение вдоль оси x :

$$F - F_{\text{тр}} + F_p = R_x, \quad (2)$$

где R_x – реакция результирующей силы;

F_p – сила, возникающая от действия давления среды на уплотнение

$$F_p = \pi D_y h p_n, \quad (3)$$

где h – толщина уплотнения.

Сила трения $F_{\text{тр}}$ состоит из двух составляющих: силы трения $F_{\text{тр}1}^y$, от действия нормальной составляющей R_y и силы выпрессовки уплотнения из седла $F_{\text{тр}2}^y$.

Потеря герметичности в затворе может возникнуть вследствие конструктивных недостатков арматуры, таких как нарушение взаимного расположения уплотнительных поверхностей затвора, обусловленное недостаточной жесткостью корпусных деталей. Важно уже на этапе проектирования арматуры сделать прогноз вероятности нарушения герметичности затвора вследствие деформаций уплотнительных поверхностей его деталей, однако существующие аналитические методы расчета трубопроводной арматуры

на прочность и жесткость не позволяют выполнить расчеты прогнозирующие вероятность поломки. Для численной реализации поставленных задач наиболее уникально использовать программные комплексы, моделирующие задачи гидрогазодинамики – ANSYS CFX и FLUENT, COMSOL CFD или аналогичные, при помощи которых можно моделировать все виды воздействий, перечисленных в схеме на рис. 3.

Моделирование силовых воздействий и определение напряженно-деформированного состояния (НДС) фторопластового уплотнения в базовом модуле программы AutoCAD Mechanical (рис. 8, 9).

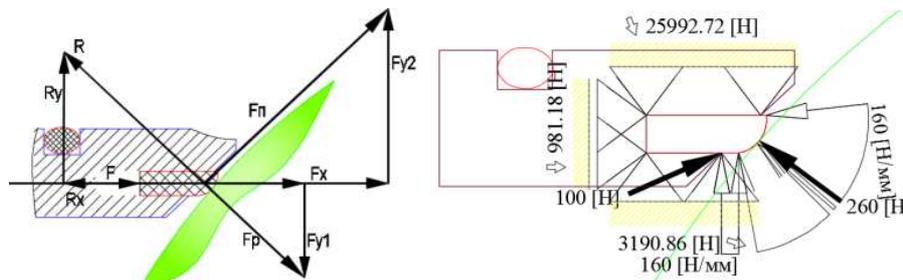


Рисунок 8 – Силы, действующие на уплотнение при открывающейся пробке (слева), модель построенная в модуле Mechanical (справа), где F_{π} – результирующая сила потока и силового воздействия

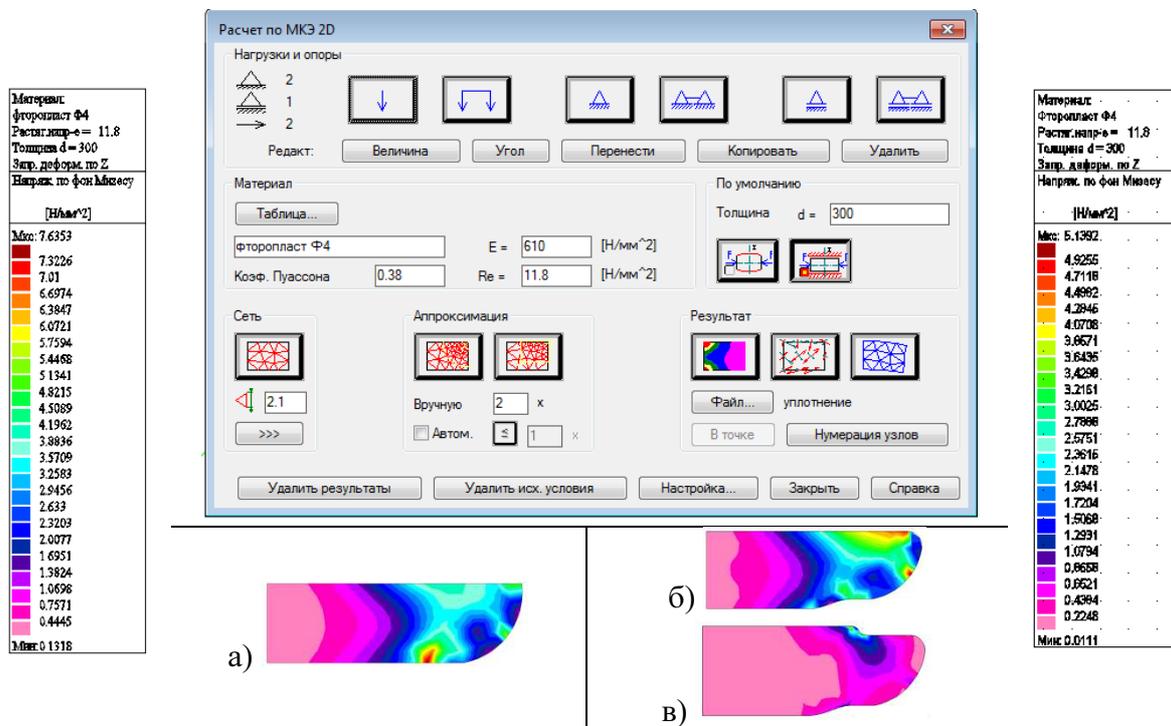


Рисунок 9 – Распределение напряжений по сечению уплотнения во время открытия пробки (результаты расчета МКЭ), слева – диаграмма распределения напряжений по сечению конструкции уплотнения а), справа – диаграмма распределения напряжений по сечению модифицированных конструкций уплотнения б) и в)

По результатам данного анализа можно сделать вывод, что наибольшие напряжения возникают в месте закрепления уплотнения в седле и силовом воздействии потока и соответственно разрушение уплотнения произойдет в виде скола в районе закрепления в седло и рекомендовать внести изменения в конструкцию детали для снижения риска аварии (рис. 9, б, в).

В свою очередь, CFX ANSYS позволяет детально изучить оборудование и процессы изнутри, повысить эффективность, увеличить срок службы и оптимизировать процессы, а FLUENT ANSYS имеет широкий спектр возможностей моделирования течений жидкостей и газов для промышленных задач с учетом турбулентности, теплообмена, химических реакций.

Методика оценки надежности трубопроводной арматуры (с учетом реальных условий эксплуатации), основанная на использовании программных комплексов, позволяет избежать конструктивных ошибок на этапе проектирования арматуры и гарантировать герметичность при различных внешних воздействиях и соответственно снижать риск возникновения аварий.

Библиографический список

1. ГОСТ Р ИСО 9001-2015 "Системы менеджмента качества. Требования" Стандарт Российской Федерации, идентичный по отношению к международному стандарту ИСО 9001:2015 Введ. 1.11.2015 г. Изд-во стандартов, 2015. – 28 с.

2. Российский морской Регистр судоходства. Правила по нефтегазовому оборудованию морских плавучих нефтегазодобывающих комплексов, плавучих буровых установок и морских стационарных платформ НД No 2-090601-001 Санкт-Петербург 2009. – 42 с.

3. Истомин С. А. Некоторые аспекты импортозамещения трубопроводной арматуры в нефтегазовом комплексе [Электронный ресурс] // ЦНИПИ "Старк". URL:

http://www.valve-industry.ru/pdf_site/93/93_26-31_Istomin.pdf

4. Рязанов А. А. "Исследование явления "взрывной декомпрессии" в шаровых кранах" ISSN 0236-3941. Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Сер. Машиностроение. 2012. Спец. выпуск № 4 "Вакуумные и компрессорные машины и пневмооборудование". С. 92–102.

Расчет ореола прогрева пласта при паротепловой обработке

Дарбинян А. З., Коротаев Б. А. (г. Мурманск, ФГБОУ ВО "Мурманский государственный технический университет", кафедра морского нефтегазового дела)

Аннотация. Рассматривается частный случай решения уравнения Лапласа в сферических и цилиндрических координатах.

Ключевые слова: Уравнение Лапласа, сферические координаты, цилиндрические координаты.

Рассматривается задача решения уравнения Лапласа в двух частных случаях. Первый случай решения рассматривается в сферических координатах, а второй в цилиндрических. Актуальность этих решений заключается в возможном применении при расчете ореола распространения тепла при паротепловой обработке продуктивного пласта.

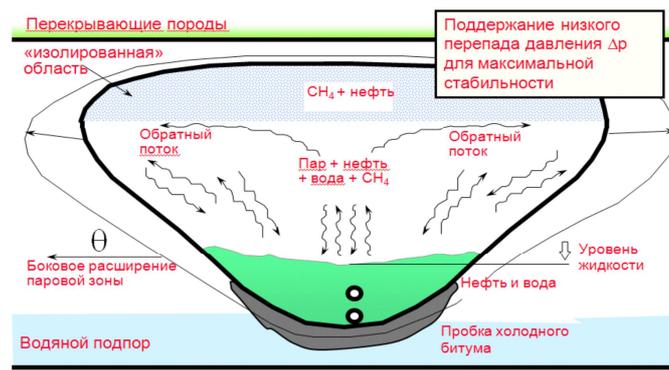


Рисунок 1 – Ореол распространения тепла при паротепловой обработке продуктивного пласта

Уравнение Лапласа в сферических координатах:

$$x = r \sin \Theta \cos \varphi, \quad y = r \sin \Theta \sin \varphi, \quad z = r \cos \Theta$$

$$\Delta u_{r,\theta,\varphi} = \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \frac{\partial u}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2 \sin \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\sin \theta \frac{\partial u}{\partial \theta} \right) + \frac{1}{r^2 \sin^2(\theta)} \frac{\partial^2 u}{\partial \varphi^2}$$

Решение уравнения имеет вид:

$$\Delta u_{r,\theta,\varphi} = 0$$
$$u_{r,\theta,\varphi} = T(\theta)R(r)F(\varphi) [1].$$

После преобразования исходного уравнения путем подстановки $u_{r,\theta,\varphi} = T(\theta)R(r)F(\varphi)$ в исходное уравнение Лапласа и проведения разде-

ления переменных приходим к следующей системе обыкновенных дифференциальных уравнений при введении постоянных μ и ν , аналогичное решение в полярных координатах приведено в [2]:

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 T}{\partial \theta^2} + \operatorname{ctg}(\theta) \frac{\partial T}{\partial \theta} + \left(\nu + \frac{\mu}{\sin^2 \theta} \right) T(\theta) &= 0 \\ r^2 \frac{\partial^2 R}{\partial r^2} + 2r \frac{\partial R}{\partial r} - \mu R(r) &= 0 \\ \frac{\partial^2 F}{\partial \varphi^2} - \nu F &= 0 \end{aligned} \quad (1)$$

Решение первого дифференциального уравнения представим следующим графиком:

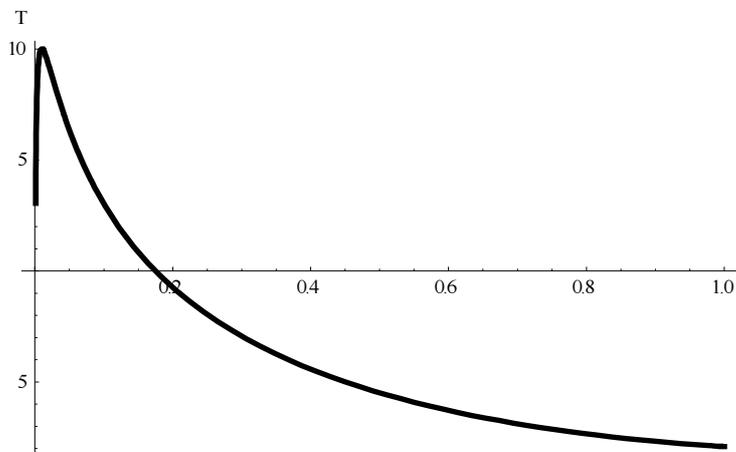


Рисунок 2 – Решение первого дифференциального уравнения

В соответствии с этим решением можно построить 3-мерную модель распределения температуры.

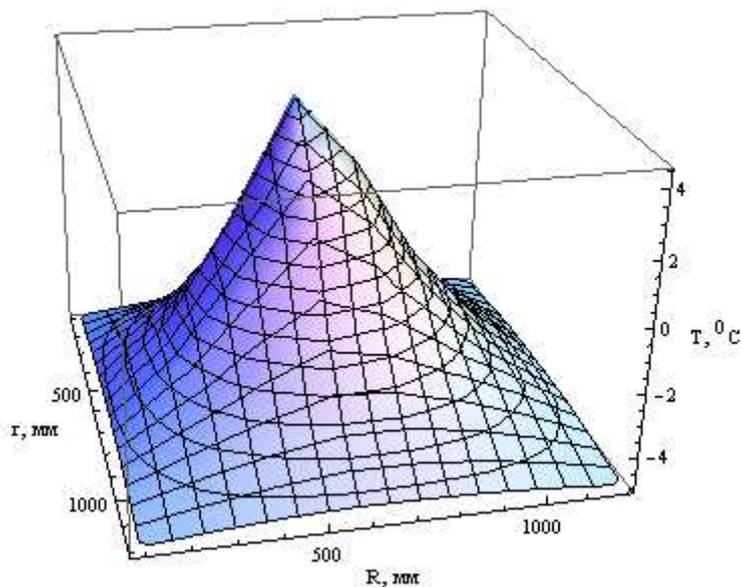


Рисунок 2а – Трехмерная модель распределения температуры

Дифференциальное уравнение для $T(\theta)$ приведенное в [1] выглядит следующим образом:

$$T''[\theta] + \text{Cot}[\theta]T'[\theta] + (v(v+1) - \frac{\mu}{\sin[\theta]^2})T[\theta] = 0 \quad (2)$$

Получим путем подстановки в функции $R(r)$ и $F(\varphi)$ $v(v+1)$ и $-\mu$.

$$r^2 R''[r] + 2rR'[r] - v(v+1)R[r] = 0$$

$$F''[\varphi] - \mu F[\varphi] = 0$$

График решения данного уравнения $T[\theta]$ приведен ниже:

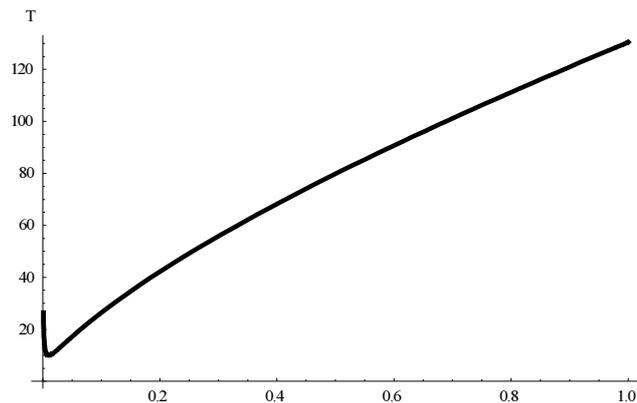


Рисунок 3 – График решения уравнения

Если ввести v и $-\mu$ то получим систему уравнений $\Delta u_{r,\theta,\varphi}$ аналогичное [1]:

$$T''[\theta] + \text{Cot}[\theta]T'[\theta] + (v - \frac{\mu}{\sin[\theta]^2})T[\theta] = 0 \quad (3)$$

$$r^2 R''[r] + 2rR'[r] - vR[r] = 0$$

$$F''[\varphi] - \mu F[\varphi] = 0$$

Построим график функции $T(\theta)$ из системы (3): левый рисунок и правый рисунок – совмещенный график:

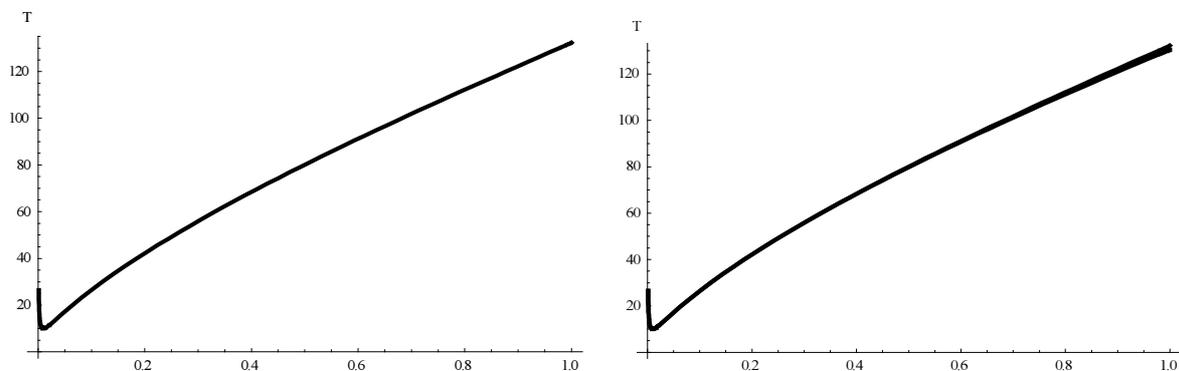


Рисунок 4 – график функции $T(\theta)$ из системы (3): левый рисунок и правый рисунок – совмещенный график

Совмещенный график двух решений (2) и (3).

Совмещенный график для трех разных решений представлен ниже.

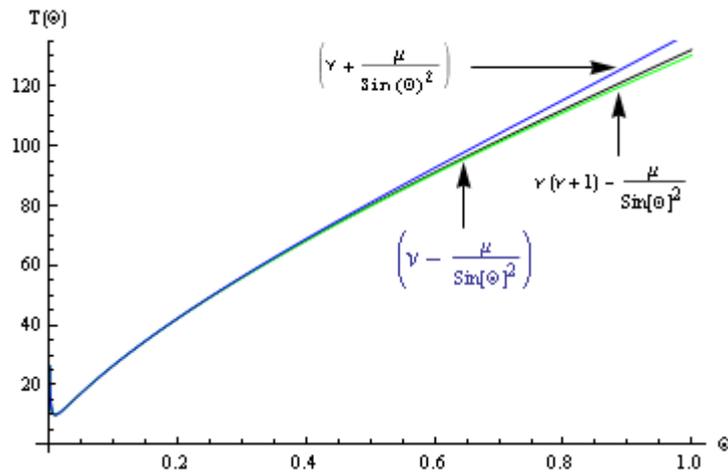


Рисунок 5 – Совмещенный график для решений

Приведем в качестве примера графики поведения функций $R(r)$ и $F(\varphi)$:

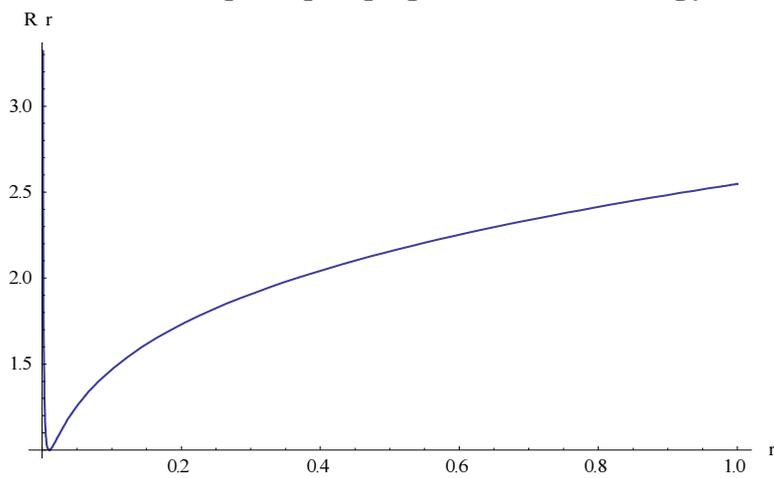


Рисунок 6 – График функции $R(r)$

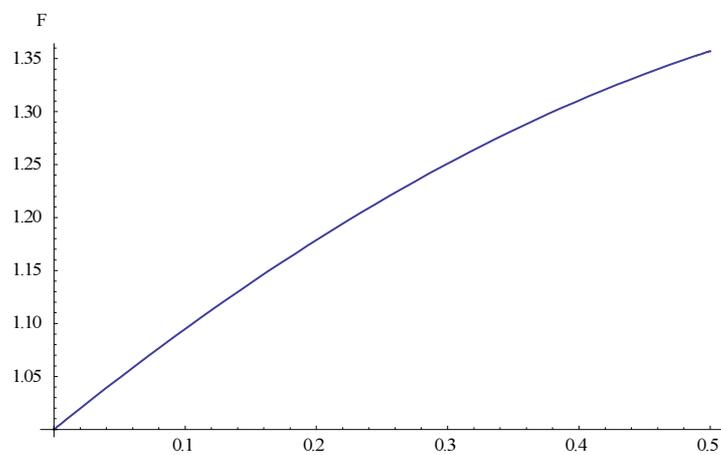


Рисунок 7 – График функции $F(\varphi)$

Произведем расчет значения температуры $r = 0.5$, $\varphi = 0.5$, $\Theta = 0.5$, $\mu = 0.5$, $\nu = 0.5$, $A = 1$, $B = 1$ в т. А при следующих значениях исходных данных:

На рис. 1 представлена расчетная схема с положением т. А.

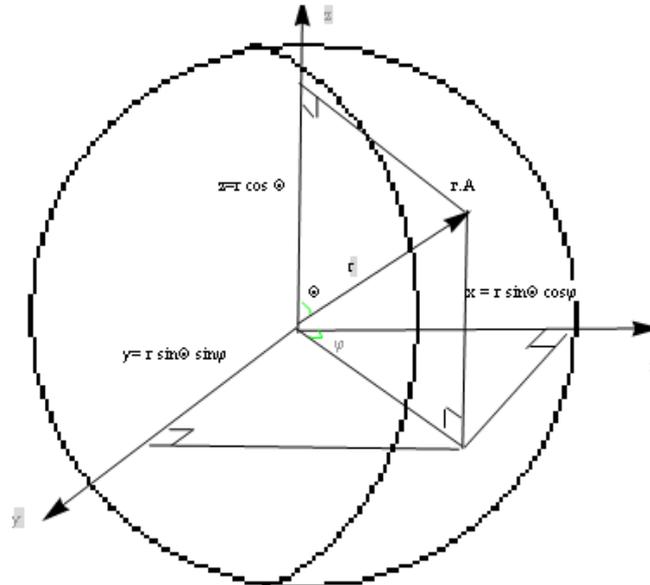


Рисунок 8 – Расчетная схема для т. А

По заданным данным нами получено решение для т. А в которой расчетное значение условной температуры составило 7.62. Тогда как на расстоянии 10 м 15.74. Таким образом, можно считать, что условный прогрев идет от внешней сферы и распределение температуры приведено к данному моменту времени. Первое уравнение, возможно, рассматривать как аналогичное дифференциальному уравнению Ньютона при остывании тела.

Уравнение Лапласа в цилиндрических координатах представлено ниже:

$$x = r \cos \varphi, y = r \sin \varphi, z = z;$$

$$\Delta u_{r,z,\varphi} = \frac{1}{r} \frac{\partial u}{\partial r} \left(r \frac{\partial u}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 u}{\partial \varphi^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2}$$

Решение данного уравнения также представим тремя обыкновенными дифференциальными уравнениями:

$$r^2 \frac{\partial^2 R}{\partial r^2} + r \frac{\partial R}{\partial r} - (\nu + \mu r^2) R(r) = 0 \quad (4)$$

$$Z''(z) + \mu Z(z) = 0$$

$$F''(\varphi) + \nu F(\varphi) = 0$$

Приведем примеры результатов решения системы уравнений в графическом виде.

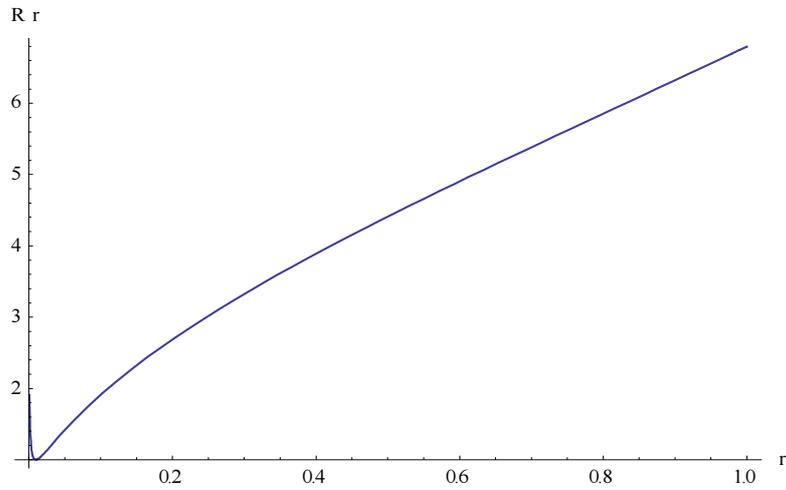


Рисунок 9 – График функции $R(r)$

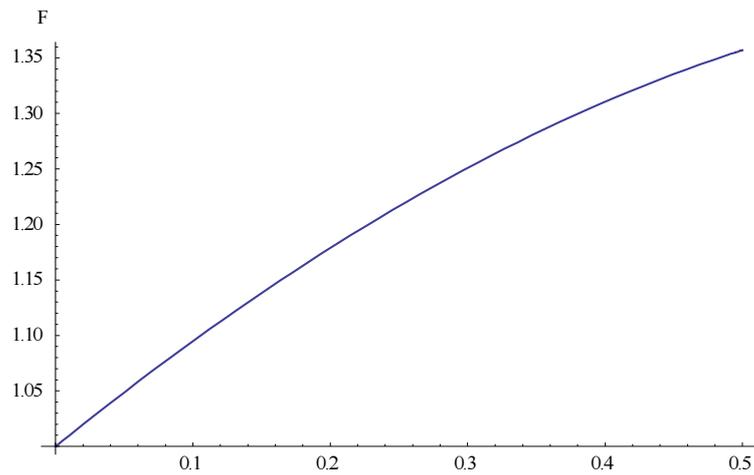


Рисунок 10 – График функции $F(\varphi)$

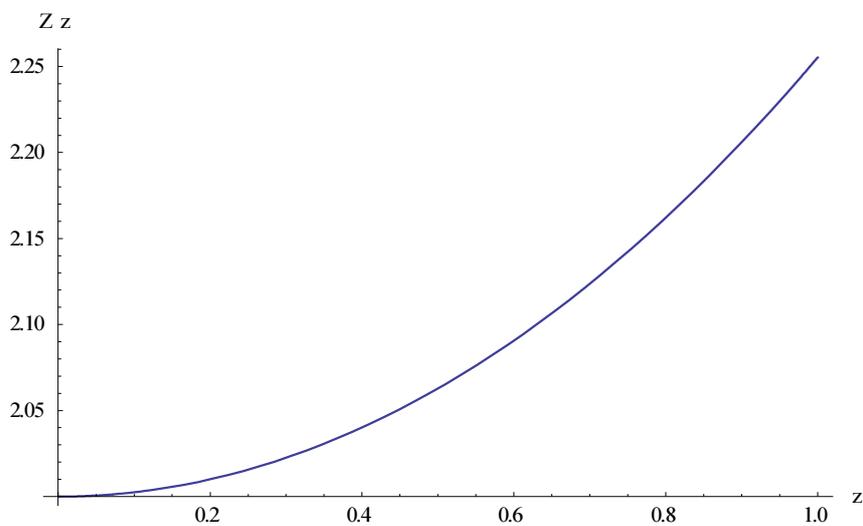


Рисунок 11 – График функции $Z(z)$

В данных уравнениях возможна подстановка

$$\mu = \frac{\lambda S}{C_{\text{п}} V \rho} \tau,$$

где λ – коэффициент теплопроводности;

S – площадь поверхности;

$C_{\text{п}}$ – удельная теплоемкость песчаника;

V – рассматриваемый объем породы и ρ – плотность породы.

Приведем расчет распределения температуры в точках плоскости при изменении θ от 1 до 90°

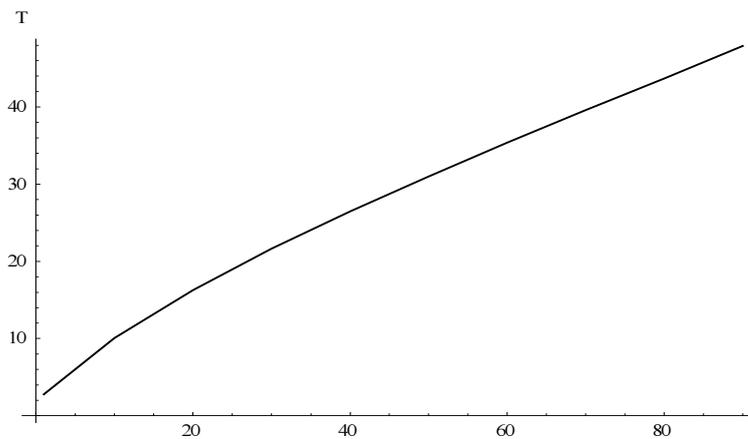


Рисунок 12 – График изменения температуры в зависимости от угла θ для точки $r = 0.5$ при изменении угла от 1 до 90 градусов

Выводы

Проблема решения уравнения (1) состоит в обходе особой точки 0.

В целом же графическое решение в зависимости от угла в диапазоне 1 до 90° правильно отражает общий физический процесс. Тепло всегда идет вверх.

Существует множество решений уравнения Лапласа. К сожалению, в классическом учебнике [2] нет графических результатов примера расчета в сферических координатах. Данные результаты можно использовать в учебном процессе.

Библиографический список

1. Бейтмен Г. Эрдейи А. Высшие трансцендентные функции. М. : Наука, 1973.
2. Тихонов, А. Н., Самарский А. А. Уравнения математической физики. М. : Наука, 2004.

Проблема изменения ледовой обстановки и климата в Арктике – важный фактор при проектировании нефтегазовых сооружений

Захаренко В. С., Николайчук Д. В. (г. Мурманск, ФГБОУ ВО "Мурманский государственный технический университет", кафедра морского нефтегазового дела)

Аннотация. В статье рассматриваются проблемы, связанные с нефтегазовым освоением шельфа, особенностями навигации и проектированием нефтегазовых сооружений в ледовых условиях. Особое внимание уделяется проблемам изменения климата и развенчанию мифа о глобальном потеплении.

Abstract. The article deals with the problems associated with oil and gas development of the shelf, features of navigation and design of oil and gas facilities in ice conditions. Particular attention is paid to the problems of climate change and the dethronement of the myth of global warming.

Ключевые слова: проблема изменения климата, нефтегазовые сооружения, ледяные поля.
Key words: the problem of climate change, oil and gas facilities, ice fields.

Снижение запасов на известных месторождениях по всему миру, растущий спрос на нефть и таяние ледников привело к значительному росту объема геологоразведочных работ в Арктике. Регион Российского Арктического шельфа имеет значение не только для России, но и для всего мира ввиду сосредоточенности здесь огромных запасов углеводородов. В настоящее время планируется освоение месторождений Баренцева и Печорского морей. Залежи углеводородов обнаружены также в Карском море (рис. 1).



Рисунок 1 – Месторождения нефти и газа в западной части Российского Арктического шельфа.

Учитывая перспективность направления, международные нефтегазовые компании и правительства стран мира предпринимают новые попытки освоения Арктики, которые, однако, сопряжены с решением сложных технических и экологических задач. Суровые климатические условия и ледовая обстановка зачастую вынуждают сокращать дорогостоящие арктические проекты. Например, недавнее изменение ледовых условий отрезало доступ к нескольким буровым платформам, на другом месторождении бурение пришлось остановить уже через сутки после начала, из-за огромной льдины, дрейфующей в сторону платформы.

Особенности навигации в ледовых условиях и проектирования нефтегазовых сооружений. Сложные ледовые условия ограничивают полевой сезон в Арктике до нескольких месяцев. Чтобы увеличить полевой сезон и оптимизировать ледовую стратегию аналитики и ледовые специалисты на сейсмических судах, буровых платформах и береговых объектах должны отслеживать и прогнозировать перемещение дрейфующих льдов и айсбергов. При опасном повышении концентрации льдов специалисты должны иметь возможность принимать обоснованные решения для обеспечения безопасности персонала, оборудования и окружающей среды.

При проектировании нефтегазовых сооружений специально указываются случаи предельного состояния, после которых сооружение уже не удовлетворяет проектным требованиям. В эту модель должны быть включены все соответствующие переменные с учетом: 1) неопределенности в отношении воздействий, 2) реакции сооружения в целом, 3) поведения отдельных компонентов сооружения и 4) воздействия на окружающую среду [8–10].

Если месторождение находится в районе Арктического шельфа, значит, скорее всего, на буровые комплексы, обслуживающие это месторождение будут воздействовать достаточно сильные ледовые нагрузки. В настоящее время, в условиях потепления все большее значение приобретает опасность от отдельных айсбергов и движущегося льда. Нельзя не отметить появление гигантского айсберга, оторвавшегося от северной оконечности Новой Земли и, по данным Кольского научного центра, при отрыве и ударе о морское дно, вызвавшего землетрясение до 6 баллов и волну цунами.

Алгоритм оценки влияния ледовых нагрузок на буровые комплексы от движущихся ледяных полей.

Следует отметить, что "Принципы проектирования по предельному состоянию" предусматривают описание структурных характеристик всего сооружения или его частей.

Сила F [МН], от воздействия движущихся ледяных полей на буровое оборудование по нормам Российской Федерации может быть рассчитана по нескольким формулам. Выберем наиболее известные:

1. Сила от воздействия ледяного поля на отдельно стоящую опору с передней гранью в виде полуциркуляционного очертания F , определяется по формуле СНиП 2.06.04-82 [1].:

$$F = 10.1 v h \sqrt{m A k_b k_v R \rho t g \gamma}$$

где R – предел прочности льда на сжатии, Мпа;

v – скорость движения ледяного поля;

m – коэффициент формы опоры в плане;

ρ – плотность воды;

A – площадь ледяного покрова.

При этом сила F не может быть больше силы, определяемой по формуле:

$$F_{bp} = m k_b k_v R d h$$

2. Нагрузка от движущегося ледяного поля на стационарные вертикальные сооружения F при отсутствии нагромождения обломков рассчитывается по формуле СТО Газпром 2-3.7-29-2005[2].:

$$F = m k R d h$$

Значение нагрузки не должно превышать предельно возможного значения нагрузки, вычисляемого по формуле:

$$F_w = \sigma_{eff} d h,$$

где σ_{eff} – эффективное давление (усредненное по фронту преграды) разрушающего льда, МПа.

Проведя необходимые сопоставления полученных вычислений с данными зарубежных фирм, можно сказать, что нормы по расчёту ледовых нагрузок на ледостойкую стационарную платформу в России и в зарубежных странах основаны на различных подходах к оценке их надёжности. В результате сравнения результатов расчетов нельзя сделать вывод о значительном преимуществе одного из методов над другим. Можно говорить о том, что нормы Российской Федерации недостаточно гармонизированы с нормами США, Канады и европейских стран. Хотя получаемые при расчетах результаты могут отличаться незначительно, отсутствие интеграции норм в некоторой мере усложняет работу зарубежных проектных и строитель-

ных фирм на территории России и в такой же степени – работу отечественных организаций за рубежом.

Изменения ледовой обстановки в связи с глобальным потеплением. Начиная с 1979, когда ученые стали следить за таянием арктического льда со спутников, специалистам удалось зарегистрировать рекордный минимум площади ледяного покрова Арктики (рис. 2). По их словам, это является еще одним признаком глобального потепления. Ученые также отметили, что площадь льда в 2016 г. в среднем на 2,56 млн кв. км меньше, чем за период с 1979 по 2000 г.

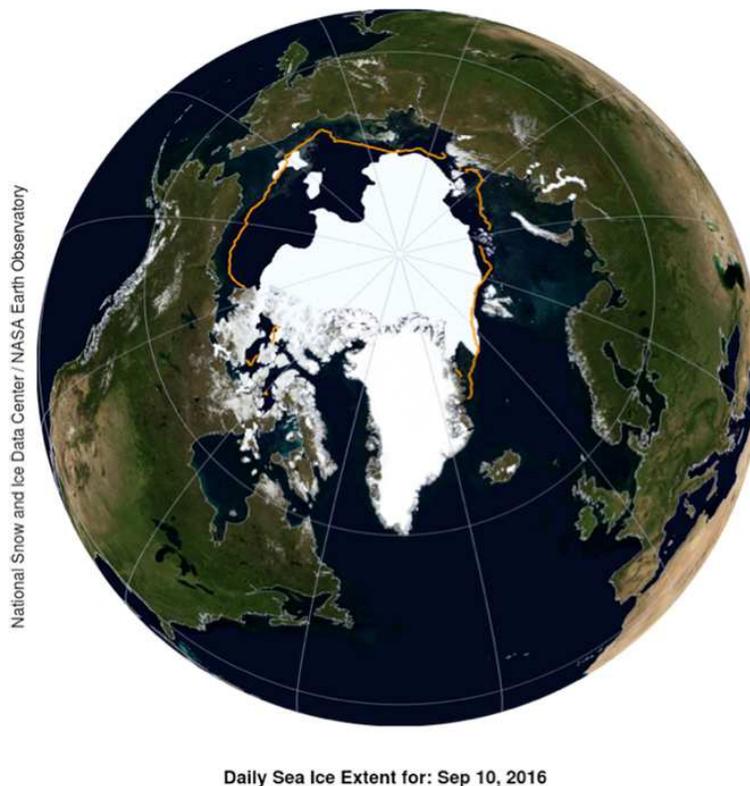


Рисунок. 2 – Площадь арктического льда на 10 сентября 2016 г. Линией показана средняя площадь льда для этого дня за период с 1981 по 2010 гг. © NASA

По прогнозам, линия тренда объема морского льда погружается в нулевую отметку и пройдет ее через несколько лет. Через несколько лет мы потеряем большую часть отражательной способности морского льда (уменьшение альбедо). Без морского льда Арктика будет продолжать нагреваться, ледниковый лед Гренландии растает, равно как и вечная мерзлота, которая покрывает четверть суши в Северном полушарии и простирается под шельфами Северного Ледовитого океана. Это таяние арктической ледяной шапки будет ускорено выпуском метана. Ученые уверены, что последствия такого процесса выходят за пределы Арктики. Арктическое потепление на сегодняш-

ний день уже связано с необычной погодой, которую называют "глобальным странствием".

Долгосрочные прогнозы и развенчание мифа о глобальном потеплении. Не все ученые придерживаются точки зрения неизбежной катастрофичности процессов глобального потепления и решающей роли антропогенного фактора в изменении климата. Исследователи из британского Университета Нортумбрии пришли к выводу, что на Земле может наступить малый ледниковый период, тем самым подтвердив версию российских ученых, прежде всего, специалистов по изучению Арктики: академиков Матишова, Котлякова, Сорохтина и др. о грядущем похолодании на планете. На самом деле, мы сейчас живем на пике небольшого локального потепления, после окончания которого, начнется новая фаза похолодания. В Институте океанологии имени П. П. Ширшова РАН профессором О. Г. Сорохтиным была разработана физическая теория климата Земли. Она показывает, что температура тропосферы (нижнего слоя земной атмосферы) и земной поверхности зависит, по крайней мере, от семи основных факторов:

- 1) от светимости Солнца,
- 2) от давления атмосферы,
- 3) от отражательной способности Земли (ее альбедо),
- 4) от угла прецессии оси вращения Земли,
- 5) от теплоемкости воздуха,
- 6) от влажности и
- 7) от поглощения парниковыми газами теплового излучения Солнца и Земли [3, 4].

Ученые Пулковской астрономической обсерватории РАН, основываясь на проведенных исследованиях, говорят, что пик солнечной активности всегда сменяется спадом, и если в XX в. Солнце было крайне активным, в XXI наступит постепенное уменьшение этого уровня, что приведет к уменьшению средней температуры Земли. В 2035–2045 гг. солнечная светимость достигнет минимума, а вслед за этим с отставанием на 15–20 лет наступит очередной климатический минимум – глубокое похолодание климата Земли.

Глобальное понижение температуры уже наблюдалось во всей Европе, в Северной Америке и Гренландии во время маундеровского минимума солнечной активности в 1645–1705 гг. В Голландии тогда замерзли все каналы, а в Гренландии вследствие наступления ледников люди были вынуждены оставить часть поселений [5].

Кстати, уже сегодня одновременно с таянием ледников в Арктике идет наращивание ледникового покрова в Антарктиде. Среди причин начавшегося и еще предстоящего глобального похолодания климата являются уменьшение угла прецессии Земли и снижением общего давления земной атмосферы. По мнению О. Г. Сорохтина, снижение давления происходит благодаря жизнедеятельности азотпотребляющих бактерий, постоянно удаляющих азот из воздуха и переводящих его в осадки [4].

Дополнительным фактором, который может спровоцировать региональное похолодание в Арктике могут стать самопроизвольные взрывы приповерхностных газогидратов, расположенных вдоль Западно-Баренцевской континентальной окраины, где проходят ветви теплого Северо-Атлантического течения (течение Гольфстрим). Эти взрывы могут произойти в результате усиливающейся тектонической активности и изменения термобарических условий, что, может привести к возникновению оползней, выравнивая температуры воды Лабрадорского и Северо-Атлантического течения, и в итоге – к смещению или остановке течения [6, 7]. К сожалению, все перечисленные выше процессы неуправляемые.

Выводы

Таким образом, рассмотрев различные точки зрения на проблему изменения климата и ледовой обстановки, мы пришли к выводу, что в связи с прогнозируемым глобальным похолоданием, потребность в энергоносителях у человечества возрастет, но вместе с этим, нефтегазовое освоение Арктики требует продуманного комплексного и всестороннего анализа. В настоящий период продолжающегося потепления следует конструктивно использовать его преимущества: дальнейшая активизация прохождения Северного Морского Пути, поиски новых месторождений нефти и газа, строительство и укрепление нефтегазовых сооружений с учетом глобального похолодания. Опыт работы в арктических условиях у России уже имеется.

Проектирование нефтегазовых сооружений нужно проводить с учетом максимальной ледовой нагрузки всех типов ледникового покрова. В период наблюдаемого потепления наибольшую опасность для нефтегазовых сооружений представляют айсберги и торосы, а в период предстоящего похолодания – увеличивающиеся по площади покровы сплошного льда.

Важно принимать во внимание, что целостность, эксплуатационная надежность конструкции на протяжении всего предполагаемого жизненного цикла и прочность – это не просто функции проектных расчетов. Они также зависят и от контроля качества при изготовлении конструкций, контроля

их состояния, способа эксплуатации и ремонта. В эту модель важно включать все соответствующие переменные с учетом неопределенности в отношении воздействий [8].

Проблема безопасности персонала, оборудования и окружающей среды приобретет в суровых условиях Арктики еще более острое звучание.

Библиографический список

1. СНИП 206.04-82. Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов). М. : Издательство стандартов. 2005. 35 с.

2. СТО Газпром 2-3.7-29-2005. Методика расчета ледовых нагрузок на ледостойкую стационарную платформу. Введ. 2005-25-04. М. : ВНИИГАЗ, 2005. 12 с.

3. Городницкий А. М. Конец мифа о глобальном потеплении // Наука и техника. 2017. № 2.

4. Сорохтин О. Г. Что же нам грозит: глобальное потепление или глобальное похолодание климата? // Вестник Российской Академии наук. 2010. № 4. С. 23–32.

5. Доклады Росгидромета об изменениях климата и их последствиях для России.

6. Захаренко В. С. Потенциальный экологический риск, связанный с газогидратами на Западно-Арктической континентальной окраине // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2011. № 4. С. 21–26.

7. Захаренко В. С. Анализ экологических рисков, связанных с освоением углеводородных ресурсов на шельфе Арктики // Социальное развитие северных территорий России и зарубежных стран: опыт, проблемы, перспективы: мат. междунар. конф. 2015. С. 82–85.

8. Золотухин А. Б., Гудместад О. Т [и др.] Основы разработки шельфовых нефтегазовых месторождений и строительство морских сооружений в Арктике : учеб. пособие. М. : ГУП Изд-во "Нефть и газ" РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина, 2000. 770 с.

9. Материалы Норвежского нефтяного директората (ННД), (1997):

10. "Acts, Regulations and provisions for the Petroleum Activities", Stavanger, Norway.

11. International Organisation for Standardisation (ISO), (1995): "ISO 13819-1 Petroleum and natural gas industries – Offshore structures Part 1: General requirements", Geneva, Switzerland.

Расчет бурильной колонны для бурения на акватории

Котов А. А.¹, Коротаев Б. А.² (г. Мурманск, ФГБОУ ВО "Мурманский государственный технический университет", ¹кафедра промышленного и гражданского строительства, ²кафедра морского нефтегазового дела)

Аннотация. Предложено оригинальное приближенное аналитическое решение задачи о криволинейной форме бурильной колонны при горизонтальном смещении буровой платформы относительно забоя и о связанных с этой формой усилиях и напряжениях в колонне. Решение дает близкие к действительности результаты и имеет простой вид, что очень важно при практическом инженерном применении.

Abstract. The original, an approximate analytical solution of the curved shape of the drill string during horizontal displacement of the drilling platform relative to the bottom and associated with this form of effort, and the stress in the column. The solution gives fairly reliable results and has a simple form, which is very important in practical engineering application.

Ключевые слова: бурильная колонна, платформа, забой, деформированное состояние, усилия, напряжения.

Key words: drillstring, platform, face, deformation, stress, strain.

Рассматривается напряженно-деформированное состояние бурильной колонны при бурении на акватории с буровой платформы. Внешним воздействием является горизонтальное смещение Δ платформы относительно забоя, вследствие чего колонна искривляется, и в ней возникает напряженное состояние. Расчетная схема задачи показана на рис. 1. Поскольку величина напряжений в материале колонны ограничена условием его прочности, то необходимо выяснить зависимость действующих в колонне усилий и напряжений от величины задаваемого смещения платформы. Точное решение этой задачи [1] связано с большими математическими проблемами и имеет настолько громоздкую форму, что ее очень затруднительно применять в практических инженерных целях. Поэтому здесь предлагается приближенное аналитическое решение, которое имеет весьма простой и удобный для применения вид.

Предполагая, что смещение платформы Δ не слишком велико по отношению к длине бурильной колонны l , для изогнутой оси колонны можно записать приближенное дифференциальное уравнение:

$$EJy'' = -M(x). \quad (1)$$

Выражение для изгибающего момента вытекает из расчетной схемы на рис. 1:

$$M(x) = -R(l - x) + F(\Delta - y) + M_B - \int_x^l q(v - y)du. \quad (2)$$

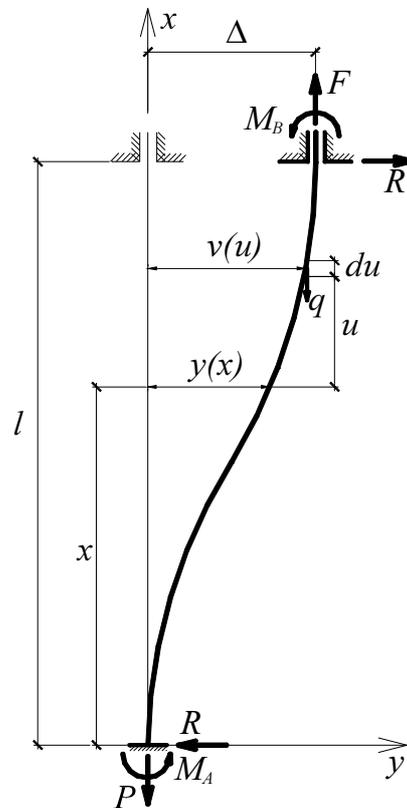


Рисунок 1 – Расчетная схема буровой колонны

Подставляем это выражение в дифференциальное уравнение (1):

$$EJy'' = R(l - x) - F(\Delta - y) - M_B + q \int_x^l (v - y)du.$$

Чтобы избавиться от интеграла, дифференцируем последнее по x :

$$EJy''' = -R + Fy' - q(l - x)y'.$$

Далее перегруппировываем слагаемые в правой части и, учитывая, что $F - ql = P$, получаем дифференциальное уравнение в виде

$$EJy''' - (P + qx)y' + R = 0. \quad (3)$$

Полученное дифференциальное уравнение третьего порядка с непостоянным коэффициентом не имеет простых аналитических решений, которые удобно было бы использовать на практике для расчетов буровых колонн. Поэтому вполне логично попытаться найти его по возможности бо-

лее простое приближенное решение. Действуя в этом направлении, прежде всего сделаем очевидную замену искомой функции:

$$y'(x) = \varphi(x). \quad (4)$$

В результате порядок дифференциального уравнения понижается до второго:

$$EJ\varphi'' - (P + qx)\varphi + R = 0. \quad (5)$$

Главную трудность в решении уравнения (5) создает переменное слагаемое qx в коэффициенте при φ . С другой стороны, произведение qx представляет собой собственный вес той части бурильной колонны, которая находится ниже рассматриваемого сечения с координатой x . Величина этого веса меняется от 0 в самом нижнем сечении колонны до ql в самом верхнем. На основании этих соображений переменную по длине величину qx заменяем ее средним арифметическим значением $0,5ql$. В соответствии с этим допущением уравнение (5) принимает вид

$$EJ\varphi'' - (P + 0,5ql)\varphi + R = 0. \quad (6)$$

Далее уравнение (6) решаем традиционным способом. После освобождения старшей производной от коэффициента получаем

$$\varphi'' - \alpha^2\varphi = -\frac{R}{EJ}, \quad (7)$$

где

$$\alpha^2 = \frac{P + 0,5ql}{EJ}. \quad (8)$$

Общее решение уравнения (7) имеет вид

$$\varphi = C_1 e^{\alpha x} + C_2 e^{-\alpha x} + \frac{R}{P + 0,5ql}. \quad (11)$$

Константы C_1 и C_2 в решении (11) находятся из граничных условий

$$\varphi|_{x=0} = 0, \quad \varphi|_{x=l} = 0,$$

после реализации которых решение (11) принимает вид

$$\varphi = \frac{R}{P + 0,5ql} \left[1 - \frac{e^{\alpha x} + e^{\alpha(l-x)}}{e^{\alpha l} + 1} \right]. \quad (12)$$

Из этого решения в соответствии с соотношением (4) и с учетом граничного условия $y|_{x=0} = 0$ получается результат для перемещения y :

$$y = \frac{R}{P + 0,5ql} \left[x - \frac{e^{\alpha x} - e^{\alpha(l-x)} + e^{\alpha l} - 1}{\alpha(e^{\alpha l} + 1)} \right]. \quad (13)$$

Здесь не известной пока величиной является силовое воздействие R , которым создается горизонтальное смещение Δ и которое величиной этого смещения и определяется. Связь между R и Δ устанавливается граничным условием $y|_{x=l} = \Delta$, из которого следует

$$r \equiv \frac{R}{(P + 0,5ql)} = \frac{v(e^v + 1)}{v(e^v + 1) - 2(e^v - 1)} \delta, \quad (14)$$

где

$$v = \alpha l, \quad \delta = \frac{\Delta}{l}. \quad (15)$$

Решения (12) и (13) в относительных, безразмерных величинах и с учетом (14) и (15) принимают вид

$$\varphi = \frac{e^v + 1 - e^{v\xi} - e^{v(1-\xi)}}{v(e^v + 1) - 2(e^v - 1)} v\delta. \quad (16)$$

$$\eta = \frac{v(e^v + 1)\xi - e^{v\xi} + e^{v(1-\xi)} - e^v + 1}{v(e^v + 1) - 2(e^v - 1)}. \quad (17)$$

Здесь

$$\xi = \frac{x}{l}, \quad \eta = \frac{y}{\Delta}. \quad (18)$$

Далее из (1) с учетом (13) – (18) получаем решение для изгибающего момента

$$m \equiv \frac{M}{(P + 0,5ql)l} = \frac{e^{v\xi} - e^{v(1-\xi)}}{v(e^v + 1) - 2(e^v - 1)} \delta, \quad (19)$$

из которого следует, что момент достигает экстремальных значений внизу у забоя и вверху у платформы:

$$m_3 = m|_{\xi=1} = -m|_{\xi=0} = \frac{e^v - 1}{v(e^v + 1) - 2(e^v - 1)} \delta. \quad (20)$$

Для оценки полученных результатов рассмотрим числовой пример расчета бурильной колонны со следующими исходными данными: $l = 350$ м, $\Delta = 17$ м, $E = 2 \cdot 10^5$ МПа, колонна – стальная труба диаметрами внешним $D = 127$ мм, внутренним $d = 108$ мм; $P = 9,825$ кН. Далее вычисляем:

$$A = \frac{\pi D^2}{4} \left(1 - \left(\frac{d}{D} \right)^2 \right) = 35,0 \text{ см}^2; \quad q = \rho A = 0,240 \text{ кН/м}; \quad \delta = \frac{\Delta}{l} = 0,0486;$$

$$J = \frac{\pi D^4}{64} \left(1 - \left(\frac{d}{D} \right)^4 \right) = 609 \text{ см}^4; \quad EJ = 1218 \text{ кНм}^2; \quad \alpha = \sqrt{\frac{P + 0,5ql}{EJ}} = 0,206 \text{ м}^{-1};$$

$$v = \alpha l = 72,1; \quad e^v = 2,054 \cdot 10^{31}.$$

Вычисления по примеру показывают, что при практически реальных параметрах бурильной колонны выполняются следующие условия:

$$e^v \rightarrow \infty \text{ и } e^v \gg 1. \quad (21)$$

На этом основании полученные выше решения можно упростить следующим образом:

$$r = \frac{v\delta}{v-2}; \quad (14.1)$$

$$\varphi = r \left[1 - e^{-v\xi} - e^{-v(1-\xi)} \right]. \quad (16.1)$$

$$\eta = \frac{v\xi - 1 + e^{-v\xi} - e^{-v(1-\xi)}}{v-2}; \quad (17.1)$$

$$m_3 = \frac{\delta}{v-2}. \quad (20.1)$$

Дальнейшие вычисления производим по упрощенным формулам

$$r = \frac{v\delta}{v-2} = 0,0500; \quad R = r(P + 0,5ql) = 2,59 \text{ кН}; \quad m_3 = \frac{\delta}{v-2} = 0,000693;$$

$$M_3 = m_3(P + 0,5ql)l = 12,57 \text{ кНм}; \quad \sigma_\Delta = \frac{M_3}{W} = \frac{M_3 D}{2J} = 131 \text{ МПа}.$$

Дополнительные напряжения в бурильной колонке, связанные с кинематическим воздействием Δ , достаточно велико по сравнению с расчетным сопротивлением конструкционной стали, например, С235, которое составляет 225 МПа. Следовательно, при расчете бурильной колонны напряжения, обусловленные смещением буровой платформы, обязательно нужно принимать во внимание. Именно для этой цели здесь и предложен достаточно простой способ определения этих напряжений.

Наглядность полученных результатов иллюстрируется графиками функций $\varphi(\xi)$ и $\eta(\xi)$, построенными в соответствии с формулами (16.1) и (17.1).

Вид графиков на рис. 2 и 3 полностью соответствует постановке задачи, показанной на рис. 1. Углы поворота φ продольной оси равны нулю у дна и у буровой платформы. При этом на большей части длины ось бурильной колонны представляет собой наклонную прямую и искривляется только на коротких участках в непосредственной близости от дна и от буровой платформы.

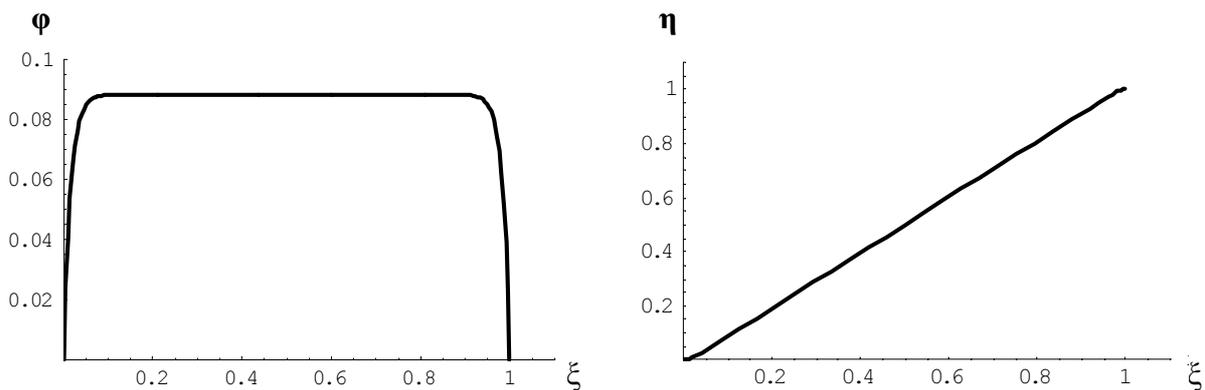


Рисунок 2 – Графики функции $\varphi(\xi)$ и $\eta(\xi)$

Относительный изгибающий момент в бурильной колонне получается из (19) с учетом (21) и (20.1):

$$m = m_3 \left(e^{-v(1-\xi)} - e^{-v\xi} \right), \quad (19.1)$$

Это же усилие, нормированное по отношению к максимальному значению, выглядит следующим образом:

$$\tilde{m} = \frac{m}{m_3} = e^{-v(1-\xi)} - e^{-v\xi}.$$

Соответствующая эпюра показана на рис. 3.

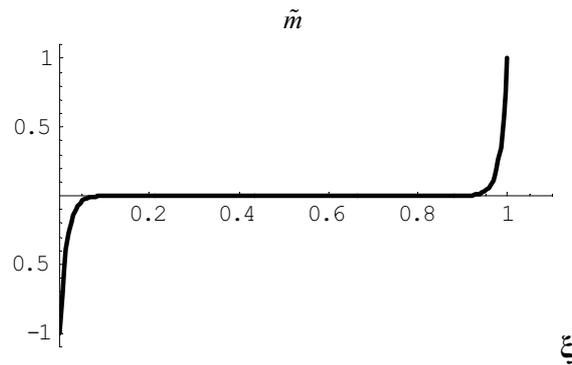


Рисунок 3 – Нормированная эпюра изгибающего момента $\tilde{m}(\xi)$

Степень достоверности аналитического решения задачи об изгибе буровой колонны оценивается путем его сравнения с приближенным числовым решением точного уравнения (5) с теми же исходными данными, которые реализованы в числовом примере аналитического решения. Решение уравнения (5) методом конечных разностей на шаге 10 м (всего 35 шагов) совместно с естественными граничными условиями

$$\varphi|_{x=0} = 0, \quad \varphi|_{x=350} = 0, \quad (23)$$

привело к решению, графически представленному на рис. 4, где показана функция $\varphi(x)$. Видно, что ее максимум, в отличие от аналитического решения на рис. 2, носит локальный характер и расположен ближе к забою, чем к буровой платформе.

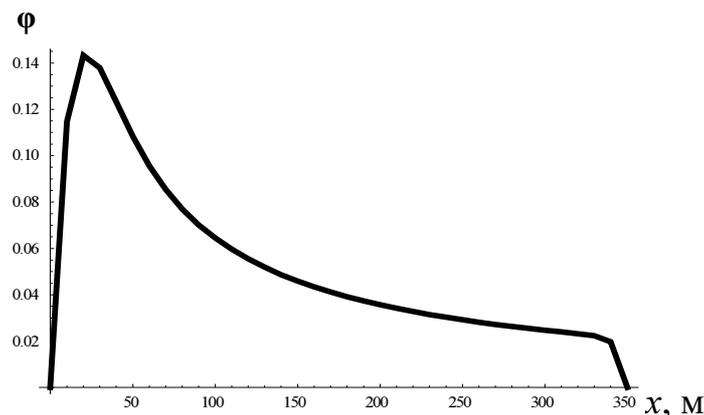


Рисунок 4 – Графическое представление численного решения уравнения (5)

Остальные сравнительные результаты представлены в табл. 1. Перемещения $u(x)$ получаются численным интегрированием графика на рис. 4, конечным результатом которого является смещение Δ , соответствующее заданному значению горизонтальной силы R . Изгибающий момент M в числовом

решении находится путем численного дифференцирования функции $\varphi(x)$ с последующим умножением на изгибающую жесткость и имеет экстремальное значение у забоя.

Таблица 1. Сравнение аналитического и численного решений

		P, кН	R, кН	Δ, м	M_z, кНм
Аналитическое решение		9,825	2,59	17,0	12,6
Числовые решения	1	9,825	2,59	23,4	20,6
	2	9,825	2,10	18,8	15,2
	3	9,825	1,90	17,4	14,7

Если в аналитическом и числовом решениях задавать строгое совпадение сдвигающей горизонтальной силы R (числовое решение 1), то разница результатов в смещении Δ и изгибающем моменте M_z получается весьма заметной и достигает 25 %. Если же горизонтальную силу, которая практически не влияет на прочность, уменьшать (числовые решения 2 и 3), то числовое решение по перемещению и моменту неуклонно приближается к аналитическому. Таким образом, из приведенного сравнения можно сделать вывод, что полученное в настоящей работе приближенное аналитическое решение дает близкие к действительности результаты. А если при этом учесть простоту его реализации, то можно считать целесообразным его использование для практических целей расчета бурильных колонн на указанное кинематическое воздействие.

Библиографический список

1. Сароян А. Е. Проектирование бурильных колонн. М. : Недра, 1971. 182 с.

Есть ли место для российской техники в современных сейсморазведочных работах?

Пантилеев С. П. (*г. Мурманск, ФГБОУ ВО "Мурманский государственный технический университет", кафедра энергетики и транспорта*)

Аннотация. Проанализировано состояние российского производства сейсморазведочной техники для шельфа морей в области источников сейсмических колебаний. Предложен импловзивный тип такого источника, давление фронта ударной волны которого на глубинах 100 м и более в несколько раз превышает сейсмическое воздействие на залегающие пласты по сравнению с групповыми пневматическими источниками. Приведены экономические обоснования для создания экспериментального образца предлагаемого источника сейсмических колебаний.

Ключевые слова: Сейсморазведочные работы на шельфе, источники сейсмических колебаний, пневмоисточники, импловзивные источники, системы создания сейсмических волн, линейные приводы.

Введение

Современное состояние сейсморазведочных работ в России и отставание нашей техники от мирового уровня предельно точно показано в ФЦП "Развитие гражданской морской техники на 2009–2016 гг."

По этому поводу авторы статьи [1] пишут "ФЦП "Развитие гражданской морской техники на 2009–2016 гг." содержит раздел, ориентированный на разработку технологий подводных инженерно-геологических работ на морском дне, который предусматривает развитие отечественного научно-технического и проектного потенциала, создание опережающего научного задела и технологий для разработки перспективной морской техники. Проведение НИОКР, строительство, реконструкция и техническое перевооружение научно-экспериментальной и стендовой базы для фундаментальных и прикладных исследований необходимы для создания конкурентоспособной техники и технологий сейсмоакустической разведки, в области которой сформировалось значительное отставание от мирового уровня. В настоящее время российские суда, выполняющие морские сейсморазведочные работы, оборудованы системами зарубежного производства.

Всего используется порядка 10 устаревших судов, которые в состоянии выполнять сейсморазведочные работы, специально для этого не проектированных, при этом примерно половина из них арендована иностранными

фирмами. Кроме того, названные суда оборудованы аппаратурой, предназначенной для осуществления морской сейсморазведки традиционными методами, апробированными западными компаниями, специализирующимися на геологоразведке морского дна. Отечественная промышленность для разведочных целей оборудования и специализированных судов не производит. Конечно, использование зарубежных технологий для освоения Арктики в краткосрочном, тактическом плане действительно выглядит очень заманчивым. Нельзя не согласиться с авторами статьи [2] – проверенные решения, ответственность за работоспособность которых лежит на плечах западных партнеров, не могут не привлекать российских управленцев среднего и высшего звена, особенно, если они отвечают за количественные показатели приращения минерагенической базы своей компании или отрасли в целом. Разработка же альтернативных российских технологий потребует финансовых затрат, времени на все фазы технологической реализации, без стопроцентной гарантии конечного успеха.

Под влиянием этих рисков технологическая пропасть между Россией и передовыми западными странами с каждым годом расширяется все больше и больше, и пределом российской инженерно-технической мысли становится способность освоения и штатного использования зарубежного оборудования.

Также следует отметить, что Россия не имеет свободного доступа ко всем зарубежным технологиям. Некоторые системы попадают под действие эмбарго или требуют длительного периода лицензирования."

17 июня 2016 г. OilCapital.ru. "Росгеология" на полях Петербургского международного экономического форума подписала соглашение на участие в проекте разработки отечественного геофизического комплекса для исследований шельфа, сообщает пресс-служба компании.

Документ подписан между "Росгеологией", министерством промышленности и торговли РФ, "Газпром нефтью", Концерном "Океанприбор" и "Морской арктической геологоразведочная экспедицией" (МАГЭ) и направлен на развитие российских технологий для разведки и освоения континентального шельфа.

Подписанты намерены сотрудничать в области разработки отечественного морского геофизического регистрирующего комплекса. Взаимодействие предполагает обмен данными и обобщение информации, организацию конференций, семинаров, информационных сессий между сторонами, а также проведение научных, технических, производственных и маркетинговых исследований.

Где же место для российского оборудования?

Пневмоисточники в виде экспериментальных образцов в СССР и затем в России начали разрабатываться с 60-х гг. прошлого столетия и не один из них в виде серийного продукта не смог конкурировать с иностранными образцами.

Авторами патента [3] (Патент 2488143 "Имплозивный источник для подводного профилирования") предлагается перейти на другой принцип создания сейсмических колебаний – использование силы гидравлического удара, создаваемого в имплозивной камере при её резком открытии. Энергетические характеристики источника с различными типоразмерами камер для различных глубин моря приведены в табл. 1 [4].

Таблица 1 – Характеристики тупиковой трубы на разных глубинах

Давление скважинное	Толщина стенки	Внутренний диаметр	Масса воды	Скорость потока	Скорость ударной волны	Давление удара	Перепад давления на стенке	Напряжение в стенке	Кинетическая энергия	Высота	Ударное усилие	Тритоновый эквивалент
МПа	м	м	кг	м/с	м/с	МПа	МПа	МПа	ДЖ	м	Н	г
30	0,015	0,1478	20,28	147,0	1370,6	100,7	70,7	348	218981	0,5912	1727085	95,2
25	0,015	0,1478	20,28	134,2	1370,6	91,9	66,9	330	182484	0,5912	1576606	79,3
20	0,015	0,1478	20,28	120,0	1370,6	82,2	62,2	307	145987	0,5912	1410159	63,5
15	0,015	0,1478	20,28	103,9	1370,6	71,2	56,2	277	109491	0,5912	1221233	47,6
10	0,015	0,1478	20,28	84,9	1370,6	58,1	48,1	237	72994	0,5912	997133	31,7
5	0,015	0,1478	20,28	60,0	1370,6	41,1	36,1	178	36497	0,5912	705079	15,9
4	0,015	0,1478	20,28	53,7	1370,6	36,8	32,8	161	29197	0,5912	630642	12,7
3	0,015	0,1478	20,28	46,5	1370,6	31,8	28,8	142	21898	0,5912	546152	9,5
2	0,015	0,1478	20,28	37,9	1370,6	26,0	24,0	118	14599	0,5912	445931	6,3
1	0,015	0,1478	20,28	26,8	1370,6	18,4	17,4	86	7299	0,5912	315321	3,2

Внедрение аппаратов, выполненных по предлагаемому принципу позволит избавиться от сложной почти полностью импортной пневматической системы создания импульсных сигналов. Имплозивные источники позволят упростить сейсмические работы на профиле, так как для работы с ним не нужен воздух высокого давления, т. е. не нужны компрессорная техника с трубопроводами высокого давления и пневматические пушки и средства для их групповой комплектации и устройства для спуска и подъёма групповых пневмоисточников. Для внедрения этой инновации на судне необходимо только

иметь небольшую дополнительную электрическую мощность (которая на порядок меньше, требуемой для работы компрессорной станции) и спускоподъёмное устройство с грузонесущим кабелем (которое также много проще чем, для спуска групповых пневмоисточников). Частоту подачи сигнала можно будет регулировать оборотами приводного электродвигателя, а мощность сигнала – глубиной буксировки аппарата: чем глубже находится аппарат, тем мощней сигнал и тем сильнее акустическое воздействие на дно и ниже лежащие пласты.

Бывшее ГП "Техморгео" (теперь конструкторский отдел МАГЭ) и патентообладателем Генеральный директор Беляков Н.В. ООО ПКФ "ГЕОКОМ" (bnv58@list.ru) могли бы создать такой экспериментальный комплекс, получив в рамках выше описанных проектов государственное финансирование.

Один из авторов патента Панталеев С. П. (serpanti@rambler.ru) бывший работник ГП "Техморгео" (в настоящее время – доцент кафедры "Энергетики и транспорта" МГТУ) может участвовать в разработке данного экспериментального образца.

Сравним энергетические затраты на создание требуемого акустического сигнала при существующей схеме и при новой предлагаемой. Для примера возьмём схему, осуществляемую на НИС "Академик Александр Карпинский".

Таблица 2 – Система пневмоисточников

Тип пневмоисточников	Sleeve Gun SG-IIВ
Производитель	ION, США
Число линий пневмоисточников	2
Число пневмоисточников в каждой линии	9
Длина линий	15 м
Расстояние между линиями	7–10 м
Длина кабель-троса	600 футов (~ 150 м)
Общий объем камер	2 860 куб. дюймов (572 л)
Тип контроллера пневмоисточников	LongShot (Real Time Systems Inc., США)
Временное разрешение	0,1 мсек
Лебедки	2 основные и 4 вспомогательных (ODIM A/S, Норвегия)
Компрессора высокого давления	3 шт. Тип Sauer WP-6442 (209 Бар (2000 psi), 500 куб. м/ч) (Германия)

При 4 выстрелах в минуту расход воздуха с давлением $P = 14$ МПа составит:

$$L = V_{\Sigma} \cdot 4/60 = 572 \cdot 10^{-3} \cdot 10/60 = 0,038 \text{ м}^3/\text{с},$$

где $V_{\Sigma} = 572$ л – общий объем камер.

Необходимая мощность компрессора для создания этих параметров:

$$N_{\text{ни}} = P L / \eta = 14 \cdot 10^6 \cdot 0,038 / 0,8 = 1,7 \cdot 10^6 \text{ Вт} = 680 \text{ кВт.}$$

Какие же при этом получаем гидродинамические характеристики акустического воздействия?

Для примера возьмём характеристики пневмоисточника ПУЛЬС-6М

Таблица 3 – Характеристики пневмоисточника ПУЛЬС-6М

Наименование характеристики	Единицы	ПУЛЬС-6М
Максимальная амплитуда сигнала	МПа м	0,15
Плотность потока акустической энергии сигнала	кДж/кв.м на 1 м	0,115
Частота	Гц	98
Давление фронта волны на расстоянии 1м ΔP_1	МПа	0,8
Эффективная длительность сигнала	мс	158

При групповом (в нашем случае $n = 18$ источников) использовании источников давление фронта волны при встрече дна на глубине $L_{500} = 500$ м, принимая во внимание, что это давление уменьшается в квадратичной зависимости от длины пути сигнала (без учёта химических релаксационных процессов, происходящих с солями сульфата магния $MgSO_4$ и ионами борной кислоты $B(OH)_3$), найдём из формулы:

$$\Delta P_{500\text{ни}} = n_c \Delta P_1 (L_1/L_{500})^2 = 18 \cdot 0,8 (1/500)^2 = 0,0000576 \text{ МПа} = 57,6 \text{ Па.}$$

Что же мы получим от предлагаемого источника (внутренний диаметр гильзы 0,1478 м – в табл. 1 выделен жирным) при буксировки его на глубине 100 м (1 МПа)?

Перепад давления на стенке гильзы на окнах переходит в давление фронта волны и составляет $\Delta P_1 = 17,4$ МПа.

Учитывая квадратичное изменение давления от расстояния получаем давление фронта волны при контакте с дном (расстояние до дна $500 - 100 = 400$ м) получим:

$$\Delta P_{500\text{ни}} = \Delta P_{1\text{ни}} (L_1/L_{100})^2 = 17,4 (1/400)^2 = 0,000109 \text{ МПа} = 109 \text{ Па.}$$

Воздействие на дно от 18 пневмоисточников в два раза слабее, чем от одного предлагаемого нами устройства.

Если же буксировать источник на глубине 400 м, то для получения сходных характеристик с ним групповому комплексу понадобится уже следующее количество источников:

$$n = n_c \Delta P_{1\text{ни}} (L_1/L_{400})^2 / \Delta P_{500\text{ни}} = 18 \cdot 17,4 (1/100)^2 / 0,0000576 = 544 \text{ шт.}$$

Количественный эффект внедрения налицо. Он уменьшает на порядок металлоёмкость всей системы: не нужны компрессоры и системы трубопроводов высокого давления с гибкими соединениями; отсутствуют устройства для спуска и подъёма линий групповых источников.

Во что при этом выливается экономия энергии?

Для имплозивного источника, имеющего следующие характеристики:

Гильзу изготавливать из трубы 127x14 ГОСТ 9940-81.

Диаметр поршня зачистки составит $d_{\text{п}} = 0,103$ м.

Площадь поршня зачистки составит:

$$f_{\text{п}} = 3,14d_{\text{п}}^2/4 = 3,14 \cdot 0,103^2/4 = 0,00833 \text{ м}^2.$$

Диаметр штока составит $d_{\text{ш}} = 2(f_{\text{п}}/6,28)^{0,5} = 0,073$ м.

При радиусе кривошипа $r_{\text{кр}} = 0,2$ м и отношении длины шатуна к длине кривошипа (половина рабочего хода поршня зачистки) равной 1,5 половина усилия на поршне зачистки на глубине 500м (5МПа)составит:

$$T = f_{\text{п}}P/2 = 0,0083 \cdot 5\,000\,000 \cdot /2 = 20\,750 \text{ Н.}$$

Момент на валу кривошипа составит:

$$M_{\text{кр}} = Tr_{\text{кр}} = 20\,750 \cdot 0,2 = 4\,150 \text{ Нм.}$$

Необходимо использовать мотор редуктор 3МП-125-3,55 ($n = 3,55$ об/мин = $0,059$ об/с, $M = 7\,650$ Нм и $N_3 = 3$ кВт). Один оборот кривошипа будет проходить за 16,95 с.

С учётом потерь в несущем кабеле затраченную мощность на привод с запасом можно принять $N_3 = 5$ кВт.

Для работы пневмоисточников требуется $N_{\text{пн}} = 690$ кВт.

Затраты электрической энергии уменьшаются в 138 раз.

При скорости судна, проходящего по профилю в $v = 1,6$ м/с оно пройдёт 1 км за 625 с. При этом будет сэкономлено энергии:

$$\Delta W_{1\text{км}} = 625 (N_{\text{пн}} - N_3) = 625 (690 - 5) = 428\,000 \text{ кДж} = 119 \text{ кВт}\cdot\text{ч.}$$

Стоимость электричества (топливная составляющая) на судне при стоимости дизельного топлива в $\text{Ц}_{\text{дт}} = 40$ рублей за 1 кг. При теплотворной способности $Q_{\text{н}}^{\text{п}} = 43$ МДж/кг получаем разницу в расходе топлива для обеспечения работы пневмоисточников и имплозивного источника на 1 км трассы:

$$\Delta B = \Delta W_{1\text{км}} / (Q_{\text{н}}^{\text{п}} \eta) = 428 / (43 \cdot 0,5) = 19,9 \text{ кг.}$$

(У дизеля КПД около 60 %, у генератора КПД около 90 %. В итоге общее КПД будет около $\eta = 50$ %).

МАГЭ в год проходит более $l = 4\ 000$ км профилей сейсморазведки. При использовании импловзивных источников вместо пневматических она бы сэкономила только на топливной составляющей электрической энергии сумму:

$$Ц_{гэ} = \Delta B \cdot l \cdot Ц_{дт} = 19,9 \cdot 4\ 000 \cdot 40 = 318\ 400 \text{ рублей.}$$

Это только топливная составляющая. Эксплуатация, ремонт, ЗИП для компрессоров, пневматической системы высокого давления и пневмопушек выльются еще в несколько таких сумм.

Да, встаёт вопрос, когда можно создать подводный буксируемый аппарат с импловзивным источником сейсмических колебаний? Если не начинать – то никогда! А начинать необходимо с самого простого аппарата спускаемого на грузонесущем кабеле без систем удержания на глубине. Такую работу может выполнить даже коллектив бывшего ГП "ТЕХМОРГЕО" (в нынешний момент отдел МАГЭ). Это облегчит проведение испытаний на судах МАГЭ, отработку и доводку деталей конструкции и способов работы.

Среди механических передач электромеханических приводов, помимо кривошипных (эксцентриковых и коленчатых) передач широкое распространение получили передачи зацеплением (зубчато-реечные, гайка-винт, цепные), трением (фрикционные, канатные, со стальной лентой), рычажные и другие. Представление о рабочих перемещениях и скоростях, реализуемых электромеханическими приводами, даёт рис. 1.

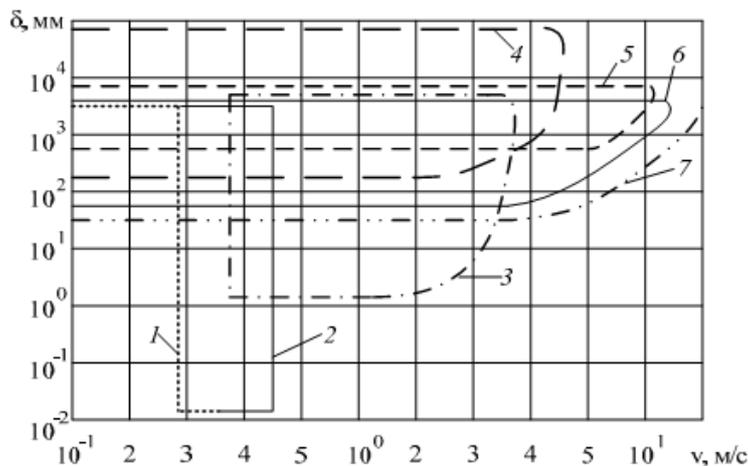


Рисунок 1 – Диапазоны рабочих перемещений δ и скоростей v , реализуемые электромеханическими приводами: 1 – с винтовыми передачами с резьбой; 2 – с винтовыми передачами с обкатом; 3 – с цилиндрическими передачами; 4 – с канатно-барабанными передачами; 5 – с цепными передачами; 6 – с зубчато-реечными передачами; 7 – с фрикционными передачами

Из-за наличия в механических передачах люфтов, трения, упругих деформаций, неравномерности передачи движения, эти приводы часто не удовлетворяют требованиям по надёжности оборудования. Поэтому в последнее время всё шире используется другой способ получения линейного движения, который опирается на непосредственное преобразование электрической энергии в возвратно-поступательное движение с помощью линейных электрических двигателей (ЛЭД), представляющих собой самостоятельный класс электрических машин. По принципу действия, определяющему конструктивные особенности и технические возможности ЛЭД, они подразделяются на следующие основные виды: индукционно-динамические (ЛИДД), магнитоэлектрические (ЛМЭД), магнитострикционные (ЛМСД), электрострикционные (ЛЭСД), асинхронные (ЛАД), электродинамические (ЛЭДД), электромагнитные (ЛЭМД). По простоте конструкции ЛИДД приближаются к электромагнитному ЛЭМД. При протекании по катушкам возбуждения импульса тока магнитный поток проходит через зазор между короткозамкнутыми витками на якоре и соответствующими катушками. Скорость срабатывания ЛИДД составляет $1 \cdot 10^{-3}$ с на длине хода до 20 мм при КПД 30–40 %.

Экспериментальные исследования ЛИДД показали, что средняя сила на форсированных режимах может достигать 250–400 Н на килограмм массы индуктора.

В нашем случае при диаметре штока $d_{\text{ш}}$ и диаметре гильзы $d_{\text{г}} = 140$ мм тяговое усилие на глубине 100 м ($P = 1$ МПа) (далее значения в [] для 500 м) при движении вниз (камера заполнена, сопротивление обратного клапана из-за мизерности не учитываем) составит:

$$F_{\text{вн}} = \pi d_{\text{ш}}^2 P/4.$$

При движении вверх:

$$F_{\text{вв}} = \pi(d_{\text{г}}^2 - d_{\text{ш}}^2)P/4.$$

Диаметры штока и гильзы подбираются так, чтобы разница их площадей равнялась площади штока:

$$d_{\text{г}}^2 - d_{\text{ш}}^2 = d_{\text{ш}}^2, \text{ тогда } d_{\text{ш}} = d_{\text{г}} (1/2)^{0,5} = 0,14(1/2)^{0,5} = 0,099 \text{ м.}$$

Примем $d_{\text{ш}} = 0,1$ м. Тогда усилия в обоих направлениях примерно будут равны:

$$F_{\text{вв}} = F_{\text{вн}} = \pi d_{\text{ш}}^2 P/4 = \pi \cdot 0,1^2 \cdot 1/4 = 0,0785 \text{ МН} = 7\,850 \text{ Н} [39250].$$

Необходим линейный привод с ходом 400 мм для привода поршня зачистки имплозивной камеры. Характеристика нагрузки: выдвижение штока при постоянной нагрузке 40 кН (усилие против хода – сжимающее); обратный ход на длине 350 мм – 40 кН (усилие против хода – растягивающее), далее нагрузка падает до нуля и переходит в противоположную в конце хода 40 кН действующей по ходу движения штока (сжимающее). Время одного хода (в одну сторону) 10...15 с. Работа не мене 10 часов без остановки. Температура в отсеке не более 10 °С.

Такие приводы выпускает ООО НПП "Сервомеханизмы" 454084, Россия, г. Челябинск.

Это линейный привод с ходом 400 мм АТЛ-100. В зависимости от требуемой периодичности сигналов можно выбрать со скоростью 70 мм/с (5,2 сигнала в минуту) или 47 мм/с (3,5 сигнала в минуту). При этом динамическое усилие будет обеспечено соответственно в 70 и 47кН при мощности приводного электродвигателя 7,5 кВт.

При положительном эффекте работы упрощённого экспериментального аппарата необходимо будет подключать кораблестроительные предприятия и КБ для создания управляемого буксируемого подводного аппарата и спуско-подъёмного устройства с лебёдкой грузонесущего кабеля (с токосъёмником).

Если работы провести оперативно и довести изготовление до серийного производства, есть шанс захватить часть рынка сейсморазведочной техники.

Государство вкладывает большие деньги для создания подводного судна для сейсмической разведки [5]. Предлагаемая разработка по стоимости на несколько порядков меньше. Было бы очень не плохо, если бы государство поддержало эту разработку.

Патентообладателем данного устройства является Генеральный директор. ООО ПКФ "ГЕОКОМ" Беляков Н. В. Это предприятие могло бы участвовать в создании такого экспериментального комплекса.

Один из авторов патента Пантилеев С. П. бывший работник ГП "Техморгео", ныне доцент кафедры "Энергетики и транспорта" МГТУ может участвовать в разработке данного экспериментального образца. Им выполнены предварительные расчёты и общие виды аппарата.

Библиографический список

1. Костыле К. А., Зуев В. А. Технология сейсморазведки с использованием ледокольного судна // Труды Нижегородского государственного технического университета им. Р. Е. Алексеева. № 1 (108).
2. Лаверов Н. П. Перспективы донной сейсморазведки в Российской Федерации / Н. П. Лаверов [и др.] // Арктика: экология и экономика. 2011. № 4. С. 4–13.
3. Патент № 2488143 "Имплозивный источник для подводного профилирования". Авторы: Беляков В. Н., Пантилеев С. П., опубл. 27.07.2013, Бюл. № 21. – 13 с: ил.
4. Пантилеев С. П. Невзрывные погружные источники сейсмических колебаний. Изд-во: LAP LAMBERT Academic Publishing / ISBN: 978-3-659-80224-9, 2015. 138 с., ил.
5. Коротин П. И. Технология сейсморазведки с подводного носителя / П. И. Коротин [и др.] // XXIV сессия Российского акустического общества, Сессия Научного совета по акустике РАН Гидроакустика. Сейсмическая акустика.

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В АРКТИКЕ

Структуры косых альвеновских волн в неоднородной холодной магнитосферно-ионосферной плазме

Волков М. А. (г. Мурманск, ФГБОУ ВО "Мурманский государственный технический университет", кафедра физики)

Аннотация. Изучены особенности распространения "косых" или дисперсионных альвеновских волн в неоднородной холодной плазме. Рассматривается плазма неоднородная поперек магнитных силовых линий в направлении север-юг и однородная в долготном направлении. Исследованы области прозрачности для этих волн в различных частотных диапазонах. Оценены масштабы поперечных структур "косых" альвеновских волн на уровне ионосферы.

Annotation. The features of the propagation of "oblique" or dispersive Alfvén waves in an inhomogeneous cold plasma are studied. Plasma is considered to be inhomogeneous across the magnetic field lines in the north-south direction and homogeneous in the longitude direction. The transparency regions for these waves in different frequency ranges are investigated. Scales of transverse structures of "oblique" Alfvén waves at the level of the ionosphere are estimated.

Ключевые слова: альвеновская волна, магнитосфера, ионосфера.

Key words: alfvén waves, magnetosphere, ionosphere.

1. Введение

В работе получено решение для "инерционной" альвеновской волны в неоднородной магнитосферной холодной плазме. Эти волны играют важную роль в механизме формирования авроральных структур [1]. "Инерционная" альвеновская волна имеет компоненту электрического поля, направленную вдоль магнитного поля Земли и поперечную компоненту электрического поля. Продольная компонента электрического поля может ускорять магнитосферные электроны, которые затем высыпаются в ионосферу. Ускорение электронов происходит на высотах нескольких радиусов Земли, где концентрация магнитосферных частиц резко падает. Такое резкое уменьшение концентрации наблюдается над авроральным овалом в вечерние и полуденные часы. Данная область в магни-

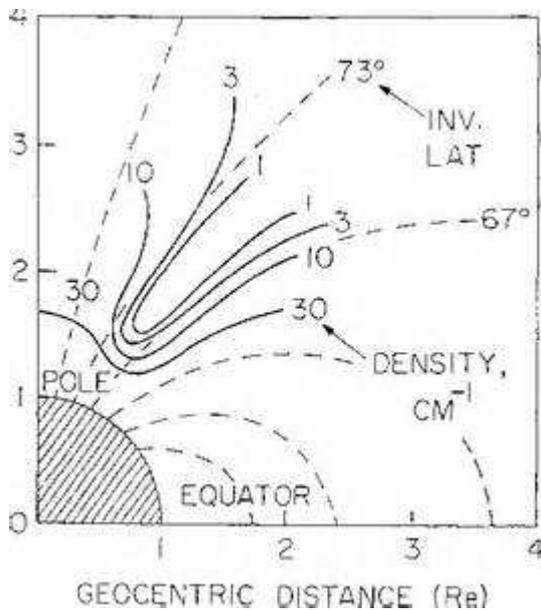


Рисунок 1 – Авроральная полость.
Density – концентрация электронов в cm^{-3} ,
LAT – магнитная широта,
DISTANCE – расстояние от центра Земли
в радиусах Земли R_E

тосферной области в вечерние и полуденные часы. Данная область в магни-

тосфере называется авроральной полостью. Концентрация плазмы в этой области изменяется не только с высотой, но и с широтой, поперек авроральной области. В работе рассматривается только поперечная магнитному полю неоднородность магнитосферной плазмы.

2. Описание ионосферы и магнитосферы

Ионосферу будем считать тонким (в сравнении с продольной длиной "инерционной" волны) идеально проводящим слоем. Используем прямоугольную систему координат, ось y направим на запад ось x к югу, ось z – вниз, вдоль магнитного поля (Северное полушарие). Будем рассматривать двумерные возмущения, зависящие от x и z , т. е. $\partial/\partial y = 0$. Граничное условие для волны в ионосфере: для магнитного поля коэффициент отражения $R = 1$. Магнитосферная плазма состоит только из холодных ионов и электронов. Электроны переносят ток вдоль магнитных силовых линий. Возмущением концентрации плазмы пренебрегаем. Считаем, что концентрация магнитосферной плазмы однородна по высоте и меняется только поперек магнитного поля в направлении x . Продольное электрическое поле E_z определяется из уравнения движения электронов вдоль магнитного поля, полагая магнитный момент электронов равным нулю:

$$m_e \partial v / \partial t = -e E_z, \quad (1)$$

где e – заряд электрона;

m_e – масса электрона;

v – возмущение скорости электронов.

Уравнение (1) лучше переписать в другой форме:

$$m_e \partial (j_z / n(x)) / \partial t = e^2 E_z, \quad (2)$$

где j_z – плотность продольного тока;

$n(x)$ – концентрация магнитосферной плазмы.

Единственной поперечной компонентой возмущенного электрического поля является E_x , магнитного – H_y . Холодные ионы переносят ток поляризации поперек магнитного поля. Из уравнения движения для холодной плазмы в магнитном поле получаем выражение для поляризационного тока в альвеновской волне:

$$j_x = 1 / (\mu_0 v_a^2) \partial E_x / \partial t, \quad (3)$$

где μ_0 – магнитная проницаемость вакуума, $v_a^2 = \rho \mu_0 / B^2$ – квадрат альвеновской скорости, $\rho(x)$ – плотность плазмы, B – индукция магнитного поля в магнитосфере. В случае конвекции магнитосферно-ионосферной плазмы со ско-

ростью v_0 в направлении x следует брать полную производную в выражении (3), $j_x = 1/(\mu_0 v_a^2) dE_x/dt$, где $dE_x/dt = \partial E_x/\partial t + v_0 \partial E_x/\partial x$. В дальнейшем не будем учитывать конвекцию плазмы, а в конечном решении укажем границы применимости этого приближения.

Из уравнений Максвелла:

$$-\partial E_z/\partial x + \partial E_x/\partial z = -\mu_0 \partial H_y/\partial t, \quad \partial H_y/\partial z = -j_x, \quad \partial H_y/\partial x = j_z, \quad (4)$$

и уравнения непрерывности для тока $\partial j_z/\partial z = -\partial j_x/\partial x$ и (1–3) получим уравнение для H_y :

$$\partial H_y/\partial t^2 = \partial(v_a^2 \partial H_y/\partial z)/\partial z + \partial(m_e/(e^2 \mu_0 n(x)) \partial(\partial^2 H_y/\partial t^2)/\partial x)/\partial x, \quad (5)$$

Магнитные силовые линии считаем прямыми, направленными вдоль оси z от одной ионосферы к другой. Полуширина авроральной полости на уровне ионосферы $L_A = 100$ км.

4. Решение волнового уравнения

Будем рассматривать периодические по времени решения. В этом случае $\partial/\partial t$ заменяем на $i\omega$. Далее используем метод разделения переменных $H_y = X(x)Z(z)$. В результате получаются два дифференциальных уравнения с одной переменной:

$$\partial^2 Z/\partial z^2 + k_z^2 Z = 0; \quad (6)$$

$$\partial(\omega^2/\omega_p^2 \partial X/\partial x)/\partial x + ((v_a^2 k_z^2 - \omega^2)/c^2) X = 0, \quad (7)$$

где $\omega_p^2 = e^2 n(x)/\varepsilon_0 m_e$ – плазменная частота;

c – скорость света;

k_z – некоторая константа, которую можно рассматривать как продольное волновое число. Решение первого уравнения имеет вид:

$$Z = C_1 \exp(ik_z z) + C_2 \exp(-ik_z z), \quad (8)$$

где $C_{1,2}$ – некоторые константы, определяемые из граничных условий.

Если длину магнитных силовых линий от ионосферы в северном полушарии до ионосферы в южном полушарии обозначить за L и поскольку ионосфера идеальный проводник, тогда $k_z = \pi p/L$, и $Z \sim \cos(\pi z p/L)$, где $p = 1, 2, \dots$

5. Поперечная структура косой альвеновской волны

Зададим модель поперечной структуры авроральной полости, вдоль оси x :

$$n(x) = n_0(1 + x^2/L_A^2).$$

Введем безразмерную переменную

$$\chi = \omega_{p0}x/c = x/\lambda_e,$$

где $\omega_{p0}^2 = e^2 n_0 / \varepsilon_0 m_e$;

c – скорость света.

Уравнение (7) перепишется в следующем виде:

$$\partial^2 X / \partial \chi^2 - (2 / (1 + \chi^2 \lambda_e^2 / L_A^2)) (\lambda_e / L_A)^2 \chi \partial X / \partial \chi + (\lambda_e^2 \omega_i \omega_e k_z^2 / \omega^2 - 1 - \chi^2 (\lambda_e / L_A)^2) X = 0, \quad (9)$$

где $\omega_{i,e} = eB / m_{i,e}$, – гирочастота протонов и электронов соответственно;

m_i = масса иона.

Решение уравнения (9) будем искать в приближении $\chi^2 \lambda_e^2 / L_A^2 \ll 1$, когда поперечные масштабы волн много меньше поперечного масштаба полости, в этом приближении знаменатель во втором слагаемом в левой части (9) можно положить равным единице. Введем следующие обозначения:

$$\alpha^2 = (\lambda_e / L_A)^2, \quad \Lambda = \lambda_e^2 \omega_i \omega_e k_z^2 / \omega^2 - 1,$$

тогда уравнение (9) принимает вид:

$$\partial^2 X / \partial \chi^2 - 2 \alpha^2 \chi \partial X / \partial \chi + (\Lambda - \alpha^2 \chi^2) X = 0. \quad (10)$$

Решение этого уравнения ищем в виде:

$$X = u(\chi) \exp(\omega(\chi)),$$

после подстановки в (10) получим:

$$u'' + 2(\omega' - \alpha^2 \chi) u' + (\omega'' + (\omega')^2 - 2\alpha^2 \omega' \chi - \alpha^2 \chi^2 + \Lambda) u = 0, \quad (11)$$

положим $\omega = \gamma \chi^2 / 2$,

$$u'' + 2(\gamma' - \alpha^2) \chi u' + (\gamma + (\gamma^2 - 2\alpha^2 - \alpha^2) \chi^2 + \Lambda) u = 0, \quad (12)$$

γ выбираем из условия $\gamma^2 - 2\alpha^2 - \alpha^2 = 0$. Из условия убывания функции X при больших значениях χ оставляем решение $\gamma = \alpha^2 - (\alpha^4 + \alpha^2)^{1/2}$, в приближении $\alpha^2 \ll 1$, $\gamma \approx -\alpha$.

Перейдем к новой переменной $\xi = (\alpha)^{1/2} \chi$, тогда уравнение (12) примет вид:

$$u'' - 2 \xi u' + (\Lambda / \alpha - 1) u = 0, \quad (13)$$

решением этого уравнения являются функции Эрмита $H_n(\xi)$, где

$$2n = \Lambda / \alpha - 1 = (\lambda_e^2 \omega_i \omega_e k_z^2 / \omega^2 - 1) / (\lambda_e / L_A) - 1. \quad (14)$$

Решение уравнения (9) в окончательном виде имеет следующий вид:

$$X(x) = C \exp(-0.5(x / (L_A \lambda_e))^{1/2})^2 H_n(x / (L_A \lambda_e))^{1/2}, \quad (15)$$

где C – константа.

Для H_y :

$$H_y = (H_{y0}/H_{nmax}) \exp(-0.5(x/(L_A \lambda_e)^{1/2})^2) H_n(x/(L_A \lambda_e)^{1/2}) \cos(\pi z p/L) \quad (16)$$

Как видно из выражения (16) характерный масштаб изменения поля волны вдоль координаты x определяется величиной $(L_A \lambda_e)^{1/2}$.

Сделаем оценки значения n .

Примем концентрацию в центре полости $n_0 = 10^6 \text{ 1/м}^3$, $L = 20 R_E$, $p = 2$, расстояние от ионосферы до авроральной полости в магнитосфере $3 R_E$, получим следующие значения величин:

$\lambda_e = -1 \text{ км}$ на ионосферном уровне;

$(L_A \lambda_e)^{1/2} = 10 \text{ км}$ на ионосферном уровне;

$n = 25(4/\omega^2 - 1)$.

На рис. 2, 3 показаны зависимости $H_y(\xi)$ и $j_z(\xi) = (L_A \lambda_e)^{-1/2} \partial H_y / \partial \xi$ при $z = 0$ и значениях $n = 3$ и $n = 30$. Для этих значений n периоды колебаний T равны соответственно 3 с и 5 с.

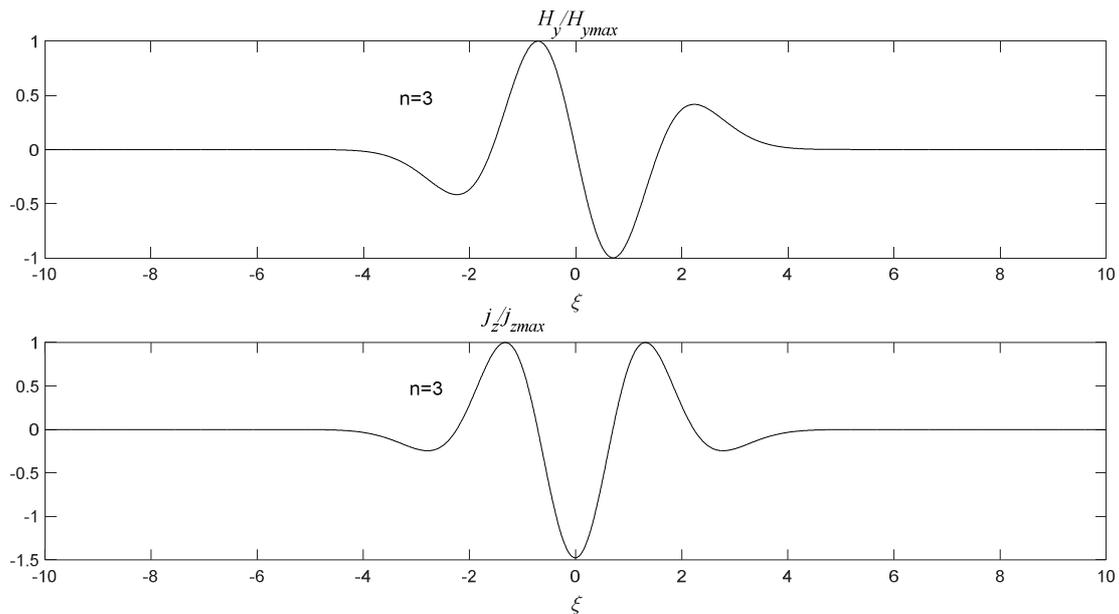


Рисунок 2 – Распределение магнитного поля и продольного тока поперек авроральной полости при $n = 3$, $\xi = x/(L_A \lambda_e)^{1/2}$, $(L_A \lambda_e)^{1/2} = 10 \text{ км}$.

Как можно видеть из графиков поперечный масштаб структур вдоль оси x зависит не только от параметра $(L_A \lambda_e)^{1/2}$, в рассматриваемом случае 10 км, но и от значения n , с ростом n поперечный масштаб отдельных структур уменьшается. Для $n = 3$ мы имеем дело практически с единичной структурой с масштабом 20 км, при $n = 30$ появляется группа структур на масштабах $\sim 6 \text{ км}$.

Рассмотрим применимость нашего приближения, т. е. насколько обоснованным является пренебрежение конвекцией. Полученное решение кор-

ректно только для высокочастотного случая, когда $v_0 T \ll L_x$, где L_x – поперечный масштаб наших структур. Зададим $v_0 = 1$ км/с, для $n = 3$, $v_0 T = 3$ км $\ll 20$ км, для $n = 30$, $v_0 T = 5$ км, что уже сопоставимо с поперечным масштабом $L_x = 6$ км. Таким образом, в низкочастотном приближении, когда $T > 20$ с, необходимо учитывать конвекцию магнитосферно-ионосферной плазмы.

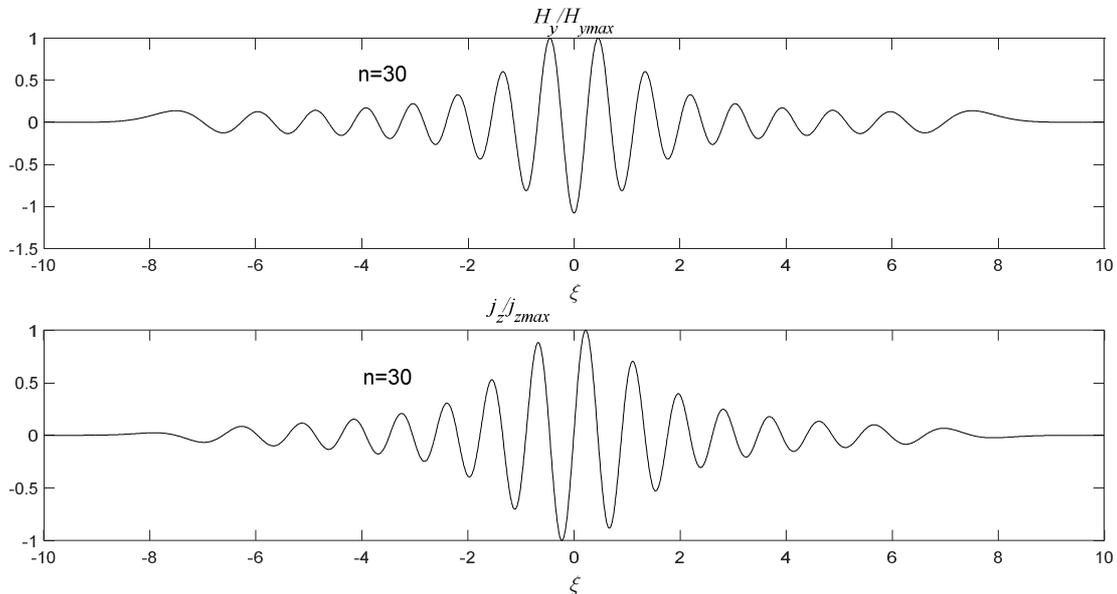


Рисунок 3 – Распределение магнитного поля и продольного тока поперек авроральной полости при $n = 30$, $\xi = x/(L_A \lambda_e)^{1/2}$, $(L_A \lambda_e)^{1/2} = 10$ км.

6. Выводы

Для высокочастотного приближения $T < 20$ с получено решение уравнения, описывающего распространение косых альвеновских волн в неоднородной (перпендикулярно магнитному полю) магнитосферной плазме, в области авроральной полости. Рассмотрена неоднородность только в одном направлении, в долготном, т. е. электромагнитные структуры вытянуты вдоль широты. Решение выражается через функции Эрмита H_n , где n – целое число. Два магнитосферных параметра определяют поперечный масштаб структур L_x – концентрация магнитосферной плазмы или λ_e и полуширина авроральной полости L_A , $L_x = (L_A \lambda_e)^{1/2}$. Поперечный размер отдельных структур зависит также от числа n , с ростом n поперечный масштаб уменьшается. Полученное решение может быть использовано для описания ряда авроральных явлений.

Библиографический список

1. Волков М. А. Авроральная турбулентность ионосферной конвекции // Вестник МГТУ. 2016. Т. 19, №1/2. С. 222–226.

Оценка местоположения области выхода магнитосферных СНЧ/ОНЧ излучений по данным наземных наблюдений

Никитенко А. С., Лебедь О. М., Пильгаев С. В., Ларченко А. В., Федоренко Ю. В. (*г. Апатиты, Полярный Геофизический Институт*)

Аннотация. Предложен метод оценки местоположения области выхода магнитосферных СНЧ/ОНЧ излучений по данным наземных измерений плотностей распределения степени круговой поляризации и азимутального угла вектора Пойнтинга. Произведена оценка местоположения области входа естественных СНЧ/ОНЧ эмиссий, зарегистрированных в обсерватории Ловозеро.

Abstract. A method of estimating magnetospheric ELF/VLF emission exit point's location by groundbased measurements of probability density functions of circular polarisation degree and azimuth angle Poynting vector is proposed. An estimation of exit point location of natural ELF/VLF emissions registered in Lovozero observatory is produced.

Введение

При исследовании механизмов генерации и распространения СНЧ/ОНЧ излучений магнитосферного происхождения от области их генерации до точки наземных наблюдений особый интерес представляет определение местоположения области выхода этих излучений из ионосферы. При решении задачи определения местоположения области выхода поверхность Земли в подавляющем большинстве случаев считают бесконечно проводящей плоскостью. В таком приближении электромагнитное поле на земной поверхности определяется его горизонтальными магнитными H_x , H_y и вертикальной электрической E_z компонентами [1].

Для определения направления вектора Пойнтинга по данным наземных наблюдений чаще всего исследователи пользуются приближением плоской волны. В таком случае поле у земной поверхности представляется суммой падающей и отраженной от бесконечно проводящей плоскости волн. Однако, структура волнового поля на земной поверхности зависит от многих эффектов, возникающих при распространении излучений на высотах ниже 150–120 км, где существует резкий вертикальный градиент показателя преломления. Например, конверсия мод, рассеяние на неоднородностях плазмы, переотражения на ионосферных слоях и другие. При выходе СНЧ/ОНЧ волн в волновод Земля – ионосфера их распространение от области выхода до точки

регистрации может происходить на модах ТЕМ, ТЕ и ТМ волновода [2]. Интерференция мод также определяет структуру волнового поля, наблюдаемого на земной поверхности в точке регистрации излучений. Из-за существования упомянутых эффектов нарушается приближение плоской волны, что ведет к ошибкам в интерпретации наземных данных.

При определении местоположения области выхода магнитосферных СНЧ/ОНЧ излучений по данным наземных наблюдений в работе [3] был использован метод, который принципиально отличается от методов, основанных на приближении плоской волны. В этой работе падающее излучение было представлено в виде пространственно ограниченного волнового пучка. Этот пучок формируется при прохождении плоской волны на моде вистлеров через полупрозрачный экран, заданный двумерной функцией пропускания. Пучок распространяется через нижнюю ионосферу, представленную в виде плоско-слоистой анизотропной среды, к земной поверхности. Расчет поля вблизи земной поверхности производился путем численного решения дифференциальных уравнений. Такой подход позволяет учесть эффекты распространения электромагнитных волн сквозь нижнюю ионосферу и эффекты, связанные с распространением волн в волноводе Земля – ионосфера от области их выхода из ионосферы до точки наблюдения.

Существующие методы определения местоположения области выхода СНЧ/ОНЧ излучений построены на измерении усредненных значений азимутального угла вектора Пойнтинга и степени круговой поляризации излучений, регистрируемых на земной поверхности. Однако, как показывают результаты наблюдений СНЧ/ОНЧ излучений на спутниках, регистрируемое излучение представляет собой результат суперпозиции случайных плоских волн. В таком случае можно предположить, что поляризационные характеристики и азимутальный угол вектора Пойнтинга излучений, наблюдаемые на земной поверхности, должны меняться во времени случайным образом. В данной работе предложен метод оценки местоположения области выхода магнитосферных СНЧ/ОНЧ излучений по данным наземных измерений плотностей распределения степени круговой поляризации и азимутального угла вектора Пойнтинга.

2. Описание модели.

На рис. 1 показано схематическое изображение модели распространения СНЧ/ОНЧ волн. В данной работе используется система координат, в ко-

торой ось X направлена на север, Y – на восток, Z – вниз. Представим земную поверхность как бесконечно проводящую плоскость, расположенную на уровне $z = 0$ и параллельную плоскости $X - Y$. Представим ионосферу как медленно меняющуюся, плоско-слоистую анизотропную плазму. Пусть плоскости ионосферных слоев параллельны плоскости $X - Y$ выбранной системы координат. Плазма характеризуется концентрацией электронов N_e , частотой столкновений электронов с нейтралами ν_e и индукцией магнитного поля \vec{B}_0 Земли. Ионосферную плазму считаем холодной. Между земной поверхностью и нижней границей ионосферы находится вакуум. Геомагнитное поле Земли для рассматриваемых широт считаем вертикальным.

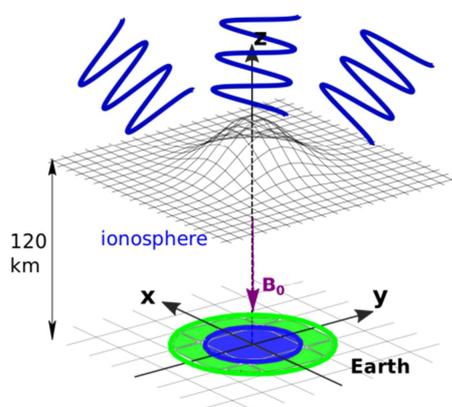


Рисунок 1 – Структурная схема модели распространения СНЧ/ОНЧ волн

Область выхода задана на высоте 120 км двумерной гауссовой функцией с параметрами $\sigma_x = \sigma_y = 100$ км. Синим цветом обозначена зона на земной поверхности, расположенная в пределах $1 \sigma_x, \sigma_y$ от точки с координатами (x_0, y_0) максимума функции $g(x, y, z - z_0)$. Зеленым – зона в пределах $1 - 2 \sigma_x, \sigma_y$.

Моделью области выхода СНЧ/ОНЧ излучений в данной работе служит полупрозрачный экран, расположенный параллельно плоскости $X - Y$ выбранной системы координат и пересекающий ось Z в точке $z_0 = -120$. Экран задан двумерной гауссовой функцией пропускания [4]:

$$g(x, y, z_0) = A \exp\left(-\frac{((x - x_0) \cos \varphi_g - (y - y_0) \sin \varphi_g)^2}{2\sigma_x^2} - \frac{((x - x_0) \sin \varphi_g + (y - y_0) \cos \varphi_g)^2}{2\sigma_y^2}\right) \quad (1)$$

Здесь $A = 1 / 2\pi\sigma_x\sigma_y$; (x_0, y_0) – координаты максимума функции $g(x, y, z_0)$; σ_x, σ_y – параметры, определяющие размеры функции $g(x, y, z_0)$ и, соответственно, области выхода; φ_g – угол между первой осью $g(x, y, z_0)$, соответствующей размеру σ_x , и главной осью X выбранной системы координат.

На полупрозрачный экран падает N распространяющихся на моде вистлеров плоских волн со случайными амплитудами D_j , начальными фазами φ_{0j} и со случайными горизонтальными компонентами волновых нормалей n_{xj}^w, n_{yj}^w . Уравнение j -ой волны, где $j = 1, 2, 3, \dots, N$, в плоскости $z = z_0$ записывается в виде:

$$\vec{E}(x, y, z_0) = D_j e^{-ik_0(n_{xj}^w x + n_{yj}^w y)} e^{-i\varphi_{0j}}. \quad (2)$$

Здесь $k_0 = \omega / c$ – волновое число в свободном пространстве, ω – круговая частота волны, c – скорость света в свободном пространстве.

Если электромагнитное поле j -ой волны в плоскости $z = z_0$ определяется по формуле 12, то поле, возникающее за экраном в результате прохождения этой волны через него, находится как:

$$g_{wj}(x, y, z_0) = D_j g(x, y, z_0) e^{-ik_0(n_{xj}^w x + n_{yj}^w y)} e^{-i\varphi_{0j}}. \quad (3)$$

Для представления поля j -ой волны за экраном в виде суммы плоских волн, осуществим преобразование Фурье над функцией $g_{wj}(x, y, z - z_0)$:

$$G_{wj}(n_x, n_y) = AD_j e^{-i\varphi_{0j}} \int_{-\infty}^{\infty} g(x, y, z - z_0) e^{ik_0(n_{xj}^w x + n_{yj}^w y)} e^{-ik_0(n_x x + n_y y)} dx dy. \quad (4)$$

2.1. Плотности распределения амплитуд, начальных фаз и горизонтальных компонент волновых нормалей

Представим плотность распределения амплитуд $p(D)$ плоских волн, падающих на область выхода, в виде распределения Рэлея, а начальную фазу $p(\varphi_0)$ волн равномерно распределенной на отрезке от 0 до 2π :

$$p(D) = \frac{D}{\sigma_d^2} \exp\left(-\frac{D^2}{2\sigma_d^2}\right), \quad p(\varphi_0) = \frac{1}{2\pi}. \quad (5)$$

Здесь σ_d – среднеквадратичное отклонение случайной величины D .

В используемой модели плоско-слоистой среды согласно закону Снеллиуса при распространении электромагнитных волн горизонтальная компонента волнового вектора сохраняется. При достаточно больших значениях горизонтальных компонент волнового вектора n_x^w , n_y^w волны, падающей на полупрозрачный экран, за экраном возникает пучок плоских волн, которые в большинстве своем являются неоднородными и поэтому они быстро затухают. Выберем диапазон возможных значений горизонтальных компонент волновых векторов волн, падающих на этот экран. Он составляет значения $|n_x^w| > 2$ и $|n_y^w| > 2$. Распределения компонент волновых нормалей n_x^w , n_y^w выбраны в виде равномерных на интервале от -2 до 2 .

2.2. Расчет азимутального угла вектора Пойнтинга и степени круговой поляризации.

Распространение ОНЧ волн от верхней границы нижней ионосферы к земной поверхности в данной работе рассчитывается путем решения дифференциального волнового уравнения [5].

В данной работе будем рассматривать плотности распределения обратного азимута вектора Пойнтинга и степени круговой поляризации. Определение их плотностей распределения требует формирования выборки длиной M отсчетов.

Мгновенное значение степени круговой поляризации в данной работе рассчитывалась по следующей формуле:

$$P_c = 2\Im(H_x H_y^*) / P, \quad (6)$$

Здесь $P = \sqrt{P_c^2 + P_l^2}$, а P_l – степень линейной поляризации, \Im – означает мнимую часть от выражения в скобках.

Мгновенные значения компонент вектора Пойнтинга по данным наземной регистрации трех компонент поля H_x , H_y и E_z рассчитываются следующим образом:

$$\vec{S} = \vec{E} \times \vec{H}^* = -E_z H_y^* \vec{e}_x + E_z H_x^* \vec{e}_y, \quad (7)$$

где \vec{e}_x, \vec{e}_y – орты выбранной системы координат.

Обратный азимут вектора Пойнтинга:

$$\varphi_S = \arctan\left(\frac{S_y}{S_x}\right) + \pi. \quad (8)$$

Здесь S_x, S_y – компоненты вектора Пойнтинга, нормированные на его длину.

3. Результаты моделирования

Проведен расчет плотностей распределения обратного азимута вектора Пойнтинга и степени круговой поляризации на земной поверхности при существовании на высоте 120 километров области выхода, описываемой функцией 1, с различными параметрами σ_x, σ_y . Для моделирования выбраны значения $N = 100$ и $M = 10\,000$. В ходе моделирования выявлено, что форма плотности распределения рассчитанных в той или иной точке на земной поверхности обратного азимута вектора Пойнтинга и степени круговой поляризации зависит от взаимного расположения точки регистрации и центра области выхода. Полученные результаты можно подразделить на случаи, когда точка регистрации находится близко к центру области выхода СНЧ/ОНЧ излучений, т. е. в пределах $1 - 1.5 \sigma_x, \sigma_y$, и далеко от центра – на расстояниях дальше, чем $1 - 1.5 \sigma_x, \sigma_y$ независимо от самих значений σ_x, σ_y .

Рассмотрим в качестве примера область выхода с параметрами $\sigma_x = \sigma_y = 100$ км (рис. 1). Синим цветом на рисунке обозначена зона, находящаяся в пределах $1 \sigma_x, \sigma_y$ от центра области выхода – это есть круг радиусом 100 км, а зеленым – за пределами $1 \sigma_x, \sigma_y$ от центра. На рис. 2, а, с представлены "типичные" формы плотностей распределения обратного азимута вектора Пойнтинга и степени круговой поляризации, наблюдаемые в синей области. В данном случае точка регистрации находится на положительной полуоси оси Y на расстоянии 25 км от точки с координатами центра области выхода. Из рисунков видно, что при таком расположении точки регистрации равновелика вероятность наблюдения азимутальных углов из широкого диапазона – $\sim 80^\circ$. Степень круговой поляризации преимущественно равна единице, что соответствует правой круговой поляризации. При удалении от центра области выхода плотности распределения степени круговой поляризации и обратного азимута вектора Пойнтинга стремятся к дельта – функции.

На рис. 2, b, d представлены "типичные" формы плотностей распределения обратного азимута вектора Пойнтинга и степени круговой поляризации, наблюдаемые в зеленой области, в данном случае точка регистрации находится на положительной полуоси оси Y на расстоянии 200 километров от центра области выхода.

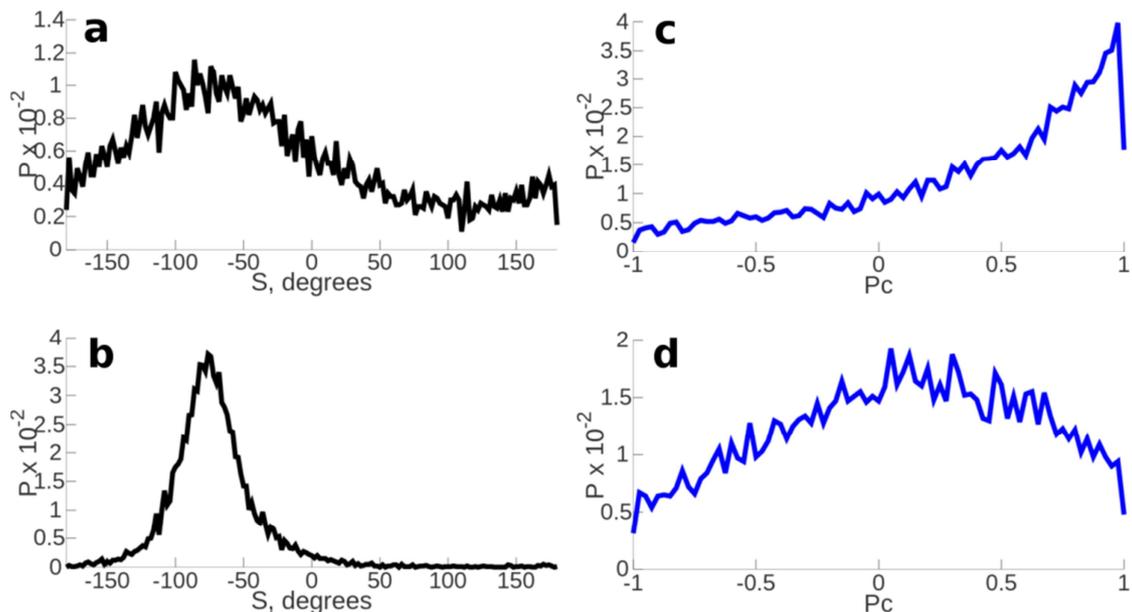


Рисунок 2 – "Типичные" формы плотностей распределения обратного азимута вектора Пойнтинга (a, b) и степени круговой поляризации (c, d), наблюдаемые в синей и зеленой зоне на земной поверхности

4. Сравнение с экспериментальными данными

На основе результатов, полученных в ходе моделирования, проведена оценка местоположения области выхода СНЧ/ОНЧ излучений, зарегистрированных в обсерватории Ловозеро. Рассмотрим излучения, зарегистрированные 07 декабря 2014 г. в период 06:30 – 08:20 UT (рис. 3, a). Зарегистрированный сигнал был профильтрован узкополосным фильтром с центральной частотой $f_c = 1000$ Гц и шириной полосы 100 Гц. Полученный сигнал поделен на пятиминутные отрезки, для которых вычислялись плотности распределения степени круговой поляризации и обратного азимута вектора Пойнтинга. На рис. 3, a, b представлены плотности распределения параметров излучений, наблюдаемые через 10 мин после начала регистрации этих излучений. Сравнение форм плотностей распределения с результатами моделирования показало, что, вероятно, в данный момент времени существует две области выхода достаточно далеко разнесенные друг относи-

тельно

друга,

а точка регистрации при этом находится между областями выхода вдоль воображаемой прямой, соединяющей их центры. Один из возможных вариантов взаимного расположения области выхода и точки регистрации представлен на рис. рис. 3, с. Спустя примерно 40 мин форма плотностей распределения степени круговой поляризации и обратного азимута вектора Пойнтинга регистрируемых всплесков меняется (рис. 3, d, e). Такая картина вероятно является результатом смещения областей выхода к западу относительно точки регистрации (рис. 3, f).

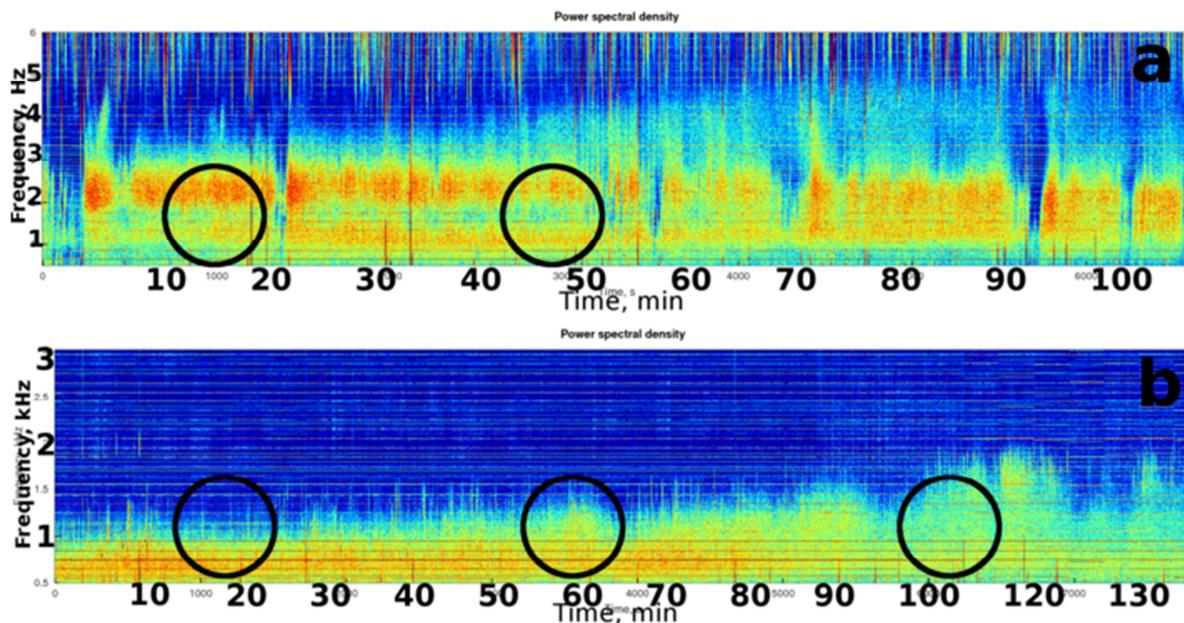


Рисунок 3 – Динамические спектры мощности магнитного поля СНЧ/ОНЧ излучений, зарегистрированных в обсерватории Ловозеро 07 декабря 2014 г. в период 06:30 – 08:20 UT (a) и 04 декабря 2014 г. в период 06:30–08:40 UT (b)

Рассмотрим еще один пример излучений, зарегистрированных 04 декабря 2014 г. в период 06:30–08:40 UT (рис. 3, b). Использован фильтр с $f_c = 700$ Гц и шириной полосы 100 Гц. На рис. 4, а представлены плотности распределения параметров излучений, наблюдаемые спустя 20 мин после начала излучений. В это время область выхода находится к западу от точки регистрации и достаточно близко к ней (рис. 4, b). Далее начинается смещение положения области выхода. Через час после начала излучений она смещается и уже находится достаточно далеко к югу от точки регистрации (рис. 4, d). А еще через час происходит незначительное смещение к юго-западу (рис. 4, f).

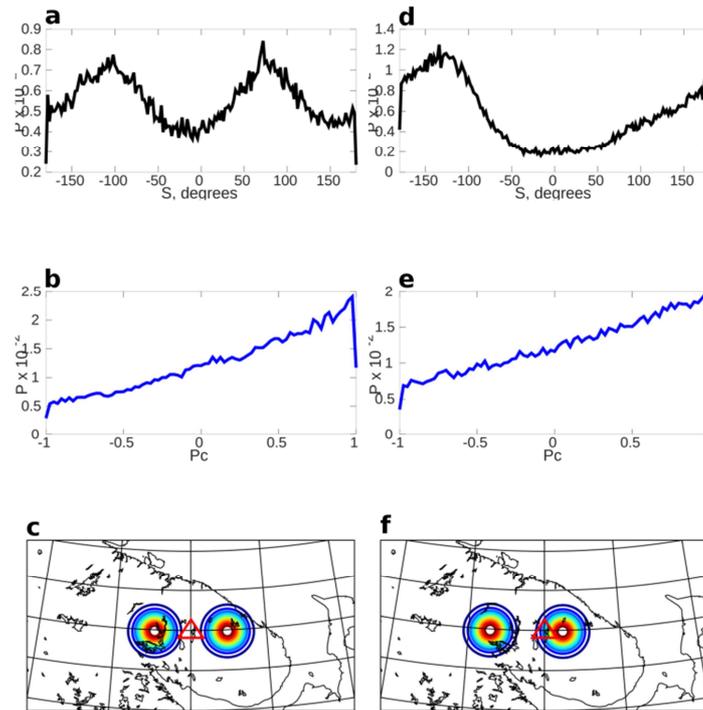


Рисунок 4 – Плотности распределения обратного азимута вектора Пойнтинга (a, d) и степени круговой поляризации (b, e), наблюдаемые спустя 10 и 50 мин соответственно после начала излучений, зарегистрированных 07 декабря 2014 г. в период 06:30–08:20 UT. Возможное взаимное расположение точки регистрации излучений и области выхода в данные моменты времени (c, f)

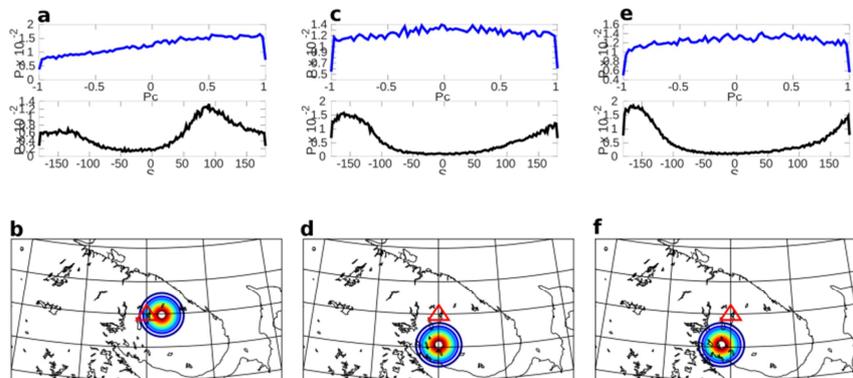


Рисунок 5 – Плотности распределения обратного азимута вектора Пойнтинга (черные кривые) и степени круговой поляризации (синие кривые), наблюдаемые спустя 20 (a), 60 (c) и 120 (e) минут после начала излучений, зарегистрированных 04 декабря 2014 г. в период 06:30–08:40 UT. Возможное взаимное расположение точки регистрации излучений и области выхода в данные моменты времени (b, d, f)

5. Выводы

Предложена модель представления СНЧ/ОНЧ излучений, распространяющихся из магнитосферы к земной поверхности. Модель включает задание ансамбля плоских волн на высоте 120 км и расчет горизонтальных компо-

нент магнитного H_x , H_y и вертикальной компоненты E_z электрического волнового поля на земной поверхности полно-волновым методом.

Результаты моделирования и сравнение их с экспериментальными данными показали, что при решении задачи определения местоположения области выхода следует использовать плотности распределения параметров регистрируемых СНЧ/ОНЧ излучений, а не их средние значения.

Показано, что форма плотности распределения степени круговой поляризации и обратного азимута вектора Пойнтинга зависят от взаимного расположения области выхода и точки регистрации. Этот факт позволяет оценить расстояние между точкой регистрации СНЧ/ОНЧ излучений и центром области выхода. Использование методов, основанных на приближении плоской волны, или предложенного в работе [3] для расчета этих параметров волновых полей лишает возможности обнаружить эту зависимость и следовательно провести более точную оценку местоположения области выхода.

Предложенный метод позволяет оценить количество областей выхода СНЧ/ОНЧ излучений, что невозможно при использовании других существующих на сегодняшний день методов оценки местоположения области выхода.

Библиографический список

1. Tsuruda K., Ikeda M. Comparison of three different types of vlf direction finding techniques // *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 84(A9):5325–5332, 1979.
2. Michiko Yamashita. Propagation of tweek atmospherics // *Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics*. 1978. 40(2). P. 151–156.
3. Mitsunori Ozaki, Satoshi Yagitani, Isamu Nagano, Yujiro Hata, Hisao Yamagishi, Natsuo Sato, and Akira Kadokura. Localization of VLF ionospheric exit point by comparison of multipoint ground-based observation with full-wave analysis // *Polar Science*. 2008. 2(4) P. 237–249.
4. Isamu Nagano, Masayoshi Mambo, Tetsuya Shimbo, and Iwane Kimura. Intensity and polarization characteristics along the earth's surface for the ELF-VLF waves emitted from a transmission cone in the high latitude // *Memoirs of National Institute of Polar Research*. aug 1986. Special issue, 42. P. 34–44.
5. Lehtinen N. G., Inan U. S. Radiation of elf/vlf waves by harmonically varying currents into a stratified ionosphere with application to radiation by a modulated electrojet // *Journal of Geophysical Research: Space Physics*. 2008. 113(A6):n/a-n/a. A06301.

Взаимосвязь ориентации поперечной анизотропии мелкомасштабных неоднородностей и горизонтального ветра в F-области субавроральной ионосферы

Романова Н. Ю. (*г. Мурманск, Полярный геофизический институт*)

Аннотация. Методом спутникового радиозондирования и приема сигнала цепочкой томографических станций Кемь – Бабаево – Москва в ряде случаев определена ориентация поперечной анизотропии Ψ_A мелкомасштабных неоднородностей (с размерами поперек магнитного поля от нескольких сотен метров до нескольких километров) электронной плотности в F-области субавроральной ионосферы. Численное сопоставление этих экспериментальных данных с направлением горизонтального нейтрального ветра (модель HWM07) показало, что мелкомасштабные неоднородности в перпендикулярной к магнитному полю плоскости вытягиваются вдоль направления горизонтального ветра.

Abstract. By radio-probing method and receiving of a signal on tomographic stations Kem – Babaevo – Moscow in some cases has determined orientation of cross-field anisotropy Ψ_A of small-scale irregularities (with sizes across magnetic field from several hundred meters to several kilometers) electronic density in the F-region of a subauroral ionosphere. Numerical comparison of these experimental data to the direction of horizontal neutral wind (HWM07 model) has shown that small-scale irregularities in the plane, perpendicular to magnetic field, are extended along the direction of horizontal wind.

Ключевые слова: ионосфера, ионосферные неоднородности.

Key words: ionosphere, ionospheric irregularities.

Введение

Под мелкомасштабными неоднородностями в данной работе подразумеваются неоднородности электронной плотности в F-области ионосферы с пространственными размерами от нескольких сотен метров до нескольких километров поперек магнитного поля. Мелкомасштабные неоднородности вытянуты преимущественно вдоль геомагнитного поля (ось α – продольная ось анизотропии) и менее вытянуты в направлении поперек магнитного поля (ось β – поперечная ось анизотропии). Соотношение осей: $\alpha > \beta$. В работе [1] неоднородности классифицированы по соотношению осей: стержни (rods, a:1:1), крылья (winds, a:b:1, $a > b$) и листы (sheets, a:a:1). Предполагается, что наблюдение стержней более вероятно в высоких широтах, а наблюдение крыльев и листов – в средних широтах. С использованием метода спутникового радиозондирования и математической обработки радиосигнала, раз-

работанного в Полярном геофизическом институте (ПГИ), в работах [2, 3] численно определены параметры неоднородностей, которые оказались схожими в высоко- и среднеширотной ионосфере. Величины осей определяются выражением $1 < \beta < \alpha$, и соотношение $\beta : \alpha$ изменяется от 1 : 2 до 1 : 20, в большинстве случаев составляя 1 : 7. В работах [2, 3] было обнаружено, что ось β имеет различную ориентацию при различных геофизических условиях, получившую название "ориентация поперечной анизотропии (Ψ_A)", которая также может быть численно определена. Ψ_A – это угол между направлением на географический север и направлением оси β . Численно величина Ψ_A измеряется в градусах. В работах [2, 3] было установлено, что причиной вытянутости неоднородностей поперек магнитного поля (физическая интерпретация величины Ψ_A) в первом случае был дрейф плазмы $E \times B$, во втором случае – горизонтальный нейтральный ветер.

Данная работа – исследование субавроральных мелкомасштабных неоднородностей разработанным в ПГИ методом. Экспериментальные данные об ориентации поперечной анизотропии Ψ_A будут сопоставлены с теоретическими расчетами направления горизонтального нейтрального ветра, выполненными на основе модели HWM07 [4, 5].

Наблюдения

В период с октября 2008 по март 2012 гг. ПГИ проводил регулярный прием спутниковых радиосигналов тремя наземными станциями, в г. Кемь (64.95°N, 34.57°E), г. Бабаево (59.37°N, 35.93°E) и г. Москва (55.67°N, 37.63°E). На произвольно выбранном примере продемонстрируем метод определения параметров мелкомасштабных неоднородностей α , β и Ψ_A . На рис. 1 показаны два участка записи квадратурных составляющих спутникового радиосигнала, содержащие амплитудные сцинтилляции.

Амплитудные сцинтилляции особенно заметны в интервале 650÷700 с. Численный расчет и графическое отображение дисперсии логарифма относительной амплитуды спутникового сигнала на этом участке имеет максимум (рис. 2). Аппроксимация максимума теоретической кривой – моделью неоднородностей позволяет определить их параметры. Величины α и β определяются путем подбора ширины теоретического максимума. Величина Ψ_A определяется по пространственному положению теоретического максимума. Эти величины показаны в левом верхнем углу рисунка. Пунктиром показан график углов между спутником и магнитным полем в точке наблюдения в течение нескольких минут спутникового сеанса.

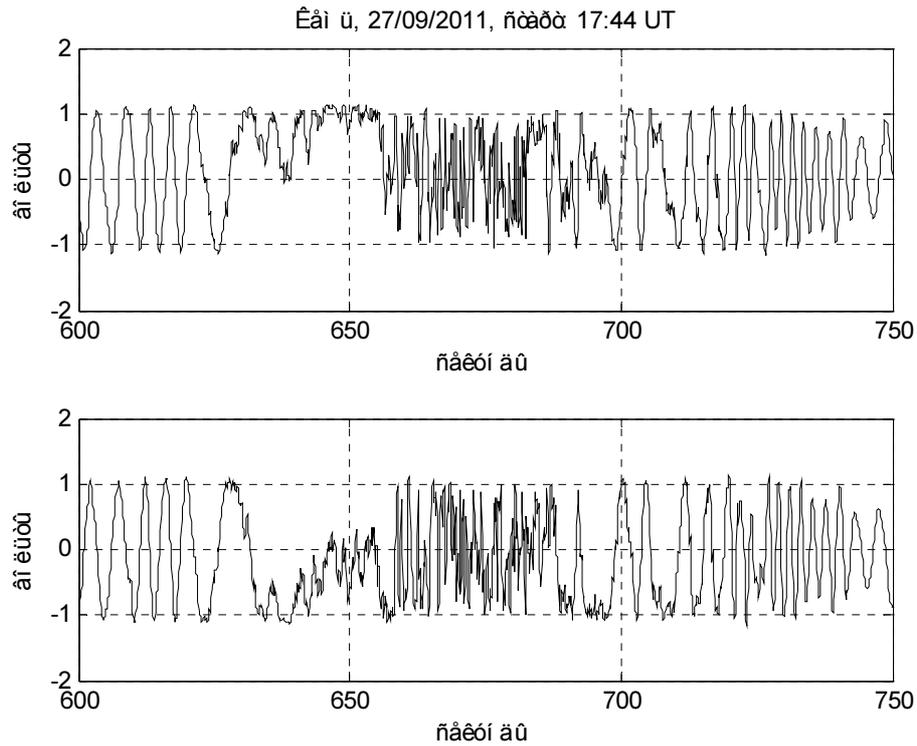


Рисунок 1 – Участок спутникового сигнала, содержащий амплитудные
 сцинтилляции. Сигнал принят на станции Кемь 27 сентября 2011 г.
 с началом спутникового сеанса в 17:44 UT

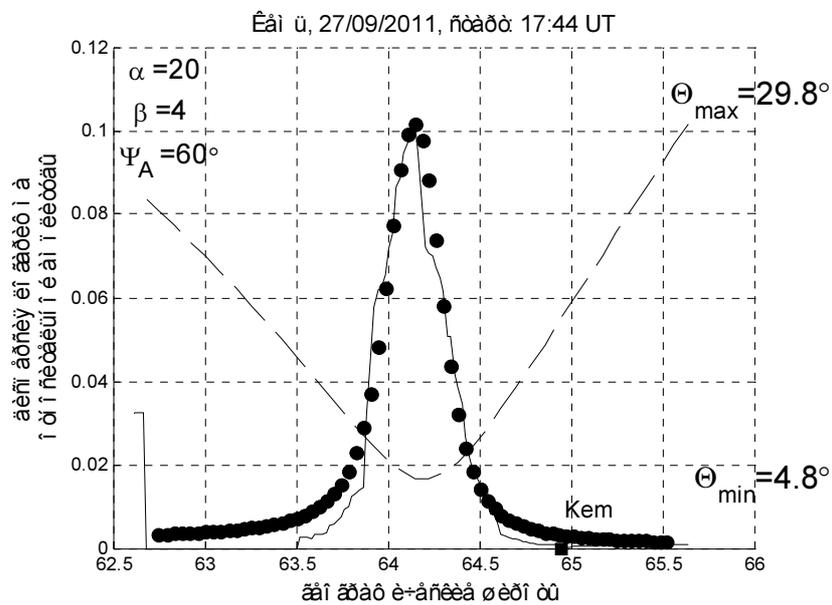


Рисунок 2 – Аппроксимация экспериментального максимума
 (тонкая сплошная кривая) теоретическим максимумом (кружки)

На протяжении периода наблюдений были случаи, когда интенсивность сцинтилляций позволяла определить ориентацию поперечной анизотропии Ψ_A на всех трех станциях. Эти случаи были сопоставлены с направлением горизонтального ветра (модель HWM07). На рис. 3 приведены примеры таких сопоставлений.

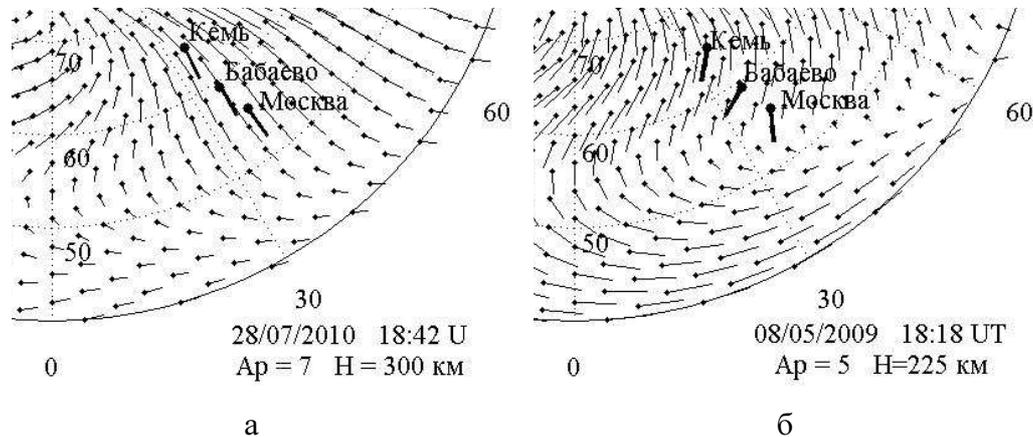


Рисунок 3 – Графическое сопоставление ориентации поперечной анизотропии по данным цепочки Кемь – Бабаево – Москва и направления нейтрального ветра согласно расчетам модели HWM07. Система координат – географическая

На рис. 3 показано распределение векторов скоростей горизонтального ветра, рассчитанное моделью HWM07 (тонкие векторы) и ориентация поперечной анизотропии (толстые векторы). Сопоставление экспериментальных и теоретических данных сделано для различных геофизических условиях: для стационарного (рис. 3, а) и нестационарного (рис. 3, б) направления горизонтального ветра в области регистрации неоднородностей. Рисунки показывают хорошее согласие между векторами, что позволяет предполагать, что мелкомасштабные неоднородности вытягиваются в направлении нейтрального ветра.

Выводы

Исследованы мелкомасштабные неоднородности электронной плотности в F-области субавроральной ионосферы радиотомографической установкой ПГИ КНЦ РАН. Ориентация поперечной анизотропии неоднородностей Ψ_A определена численно и сопоставлена с направлением горизонтального ветра, рассчитанного по модели HWM07 для каждого случая. Установлено, что в плоскости, перпендикулярной магнитному полю, мелкомасштабные неоднородности вытянуты вдоль направления горизонтального ветра.

Благодарность. Автор благодарит сотрудников лаборатории радиопросвечивания Полярного геофизического института за проведение экспе-

риментальных работ. Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ № 16-05-01024 А и № 15-05-02437 А.

Библиографический список

1. Livingston R. C., Rino C. L., Owen J., Tsunoda R. T. The anisotropy of high-latitude nighttime F region irregularities // *J. Geophys. Res.* 1982. V. 87. №A12. P. 10519–10526.

2. Козлова М. О. Исследование неоднородностей километрового масштаба в F-области высокоширотной ионосферы по данным о мерцаниях спутниковых радиосигналов: автореф. дисс. канд. физ.-мат.наук. Мурманск : изд-во ПГИ КНЦ РАН, 2002. 30 с.

3. Романова Н. Ю. Взаимосвязь между направлением горизонтального ветра и ориентацией поперечной анизотропии мелкомасштабных неоднородностей в F-области среднеширотной ионосферы // *Геомагнетизм и Аэронавигация.* 2017. Т. 57. № 4. С. 1–9.

4. Drob D. P., Emmert J. T., Crowley G. et al. An empirical model of the Earth's Horizontal Wind Fields: HWM07 // *J. Geophys. Res.* 2008. V. 113. doi:10.1029/2008JA013668.

5. Emmert J. T., Drob D. P., Shepherd G. G., Hernandez G., Jarvis M. J., Meriwether J. W., Niciejewski R. J., Sipler D. P., Tepley C. A. DWM07 global empirical model of upper thermospheric storm-induced disturbance winds // *J. Geophys. Res.* 2008. V. 113. doi:10.1029/2008JA013541.

**НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ
В АРКТИЧЕСКОМ РЕГИОНЕ –
ПРОБЛЕМЫ ГЕОЛОГИИ**

Рудопроявление золота Няльм-1 в поясе Колмозеро-Воронья: геологические и минералого-геохимические особенности

Калинин А. А.¹, Бакаев Г. Ф.²

¹ (г. Апатиты, Геологический институт КНЦ РАН, Апатитский филиал ФГБОУ ВО "Мурманский государственный технический университет", кафедра геологии и полезных ископаемых, e-mail: kalinin@geoksc.apatity.ru)

² (г. Мончегорск, ОАО "Центрально-Кольская экспедиция")

Аннотация. Рудопроявление Няльм-1 связано с линейным штокверком карбонат-кварцевых прожилков в штоке габбродиоритов – диоритов – гранодиорит-порфиров. Золото высокопробное, тонкое (до 0.7 мм), сконцентрировано в кварцевых прожилках. По своим характеристикам рудопроявление Няльм-1 отличается от других проявлений золота в поясе Колмозеро-Воронья и отнесено к золото-кварцевой рудной формации.

Abstract. Gold mineralization in Nyalm-1 occurrence is connected with a linear stockwork of quartz-carbonate veinlets in gabbrodiorite – diorite – granodiorite porphyry intrusion. High-grade fine gold is concentrated in quartz veinlets. Nyalm-1 occurrence differs in its critical characteristics from other gold occurrences in the Kolmozero-Voronya greenstone belt, and was classified as a deposit of quartz-gold formation.

Ключевые слова: пояс Колмозеро-Воронья, рудопроявление Няльм-1, метасоматоз, золото, золото-кварцевая формация.

Key words: Kolmozero-Voronya belt, Nyalm-1 gold occurrence, alteration, gold, quartz-gold formation.

Рудопроявление Няльм-1 открыто в 1974 г. А. Д. Даиним при заверке геохимической аномалии золота в четвертичных отложениях и изучалось силами Центрально-Кольской экспедиции в 70-х – начале 80-х гг. XX в. Основанная на данных из геологических отчетов Центрально-Кольской экспедиции краткая информация о рудопроявлении приведена в монографии [1] и в нашей публикации [2]. Керн буровых скважин прошлого века не сохранился, обнаженность в районе рудопроявления практически отсутствует, поэтому несомненный интерес представил керн единичных скважин, пробуренных на объекте в 2007 г. компанией "Блэк Фокс" [3]. Результаты изучения этого керна, а также материалы, собранные нами в ходе полевых работ 1982 г., легли в основу данной публикации.

Рудопроявление золота Няльм-1 находится в северо-западной части неогаргейского зеленокаменного пояса Колмозеро-Воронья, у подножья г. Няльмчечуайв. Аналогично другим известным в этой структуре рудопро-

явлениям золота Оленинское и Няльм-2, оно приурочено к осевой части пояса Колмозеро-Воронья к толще амфиболитов хребта Оленьего и располагается на участке юго-восточного выклинивания указанной толщи. Золоторудная минерализация связана со штокверком кварцевых прожилков в интрузии габбродиоритов-диоритов-гранодиорит-порфиров и с расположенными в пределах штокверка кварцевыми жилами (рис. 1).

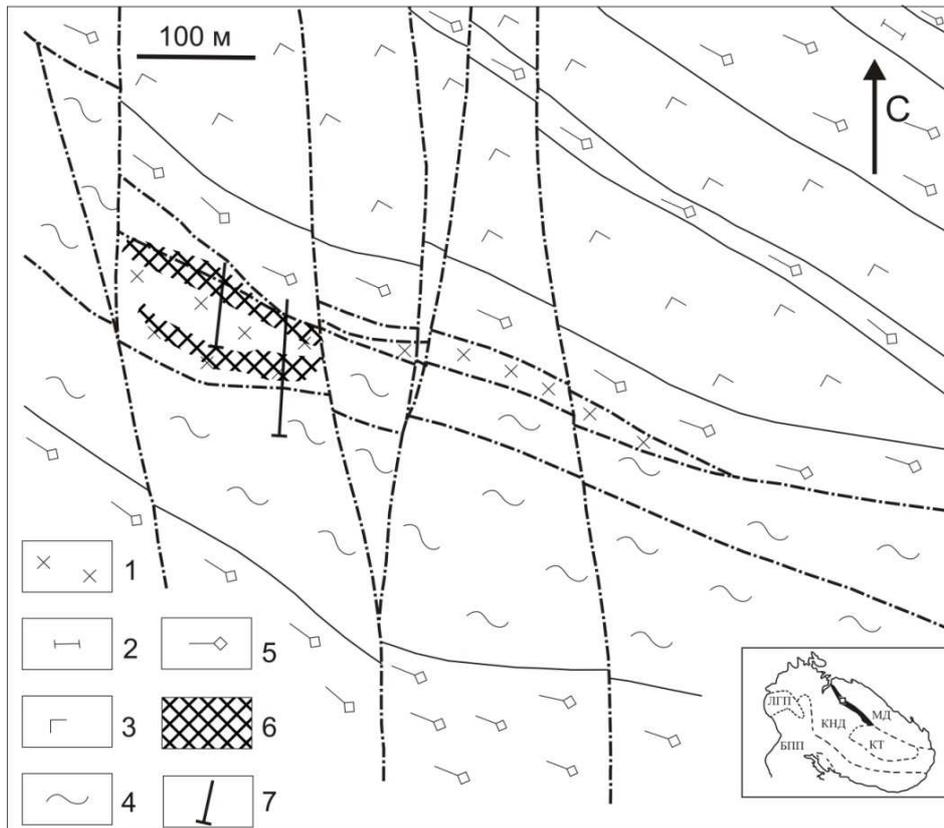


Рисунок 1 – Схематическая геологическая карта района рудопроявления Няльм-1 (по [3], с упрощениями).

Условные обозначения: 1 – комплекс малых интрузий комплекса габбродиоритов-диоритов-гранодиорит-порфиров; 2 – метапироксениты и метаперидотиты; 3 – метагаббро; 4 – метаосадочные породы поросозерской серии: высокоглиноземистые сланцы, углеродистые сланцы; 5 – амфиболиты хр. Оленьего (оленинская толща); 6 – штокверк карбонат-кварцевых прожилков; 7 – буровые скважины 2007 г. На врезке контур – Кольского полуострова с выделенными крупными тектоническими блоками (штриховые линии): МД – Мурманский домен; КНД – Кольско-Норвежский домен; КТ – Кейвский террейн; ЛГП – Лапландский гранулитовый пояс; БПП – Беломорский подвижный пояс. Жирным показан зеленокаменный пояс Колмозеро-Воронья с районом исследования (белый квадрат)

Малые интрузии (штоки и дайки) комплекса габбродиоритов-диоритов-гранит-порфиров секут стратифицированные метаморфические породы зеленокаменного пояса. Установлено свыше 10 тел пород данного комплекса,

их размеры не превышают нескольких сотен метров по длинной оси. Вмещающими породами служат преимущественно глиноземистые сланцы поросозерской серии, реже – амфиболиты полмостундровской и оленинской толщ. Интрузия габбродиоритов-диоритов-гранодиорит-порфиров у подножия г. Няльмчечуайв имеет размеры примерно 100x220 м; вмещающие породы – высокоуглеродистые мусковитовые и кианит-мусковитовые сланцы, образующие линзовидное тело 300x1 000 м среди амфиболитов, а также сами амфиболиты (рис. 1, 2).

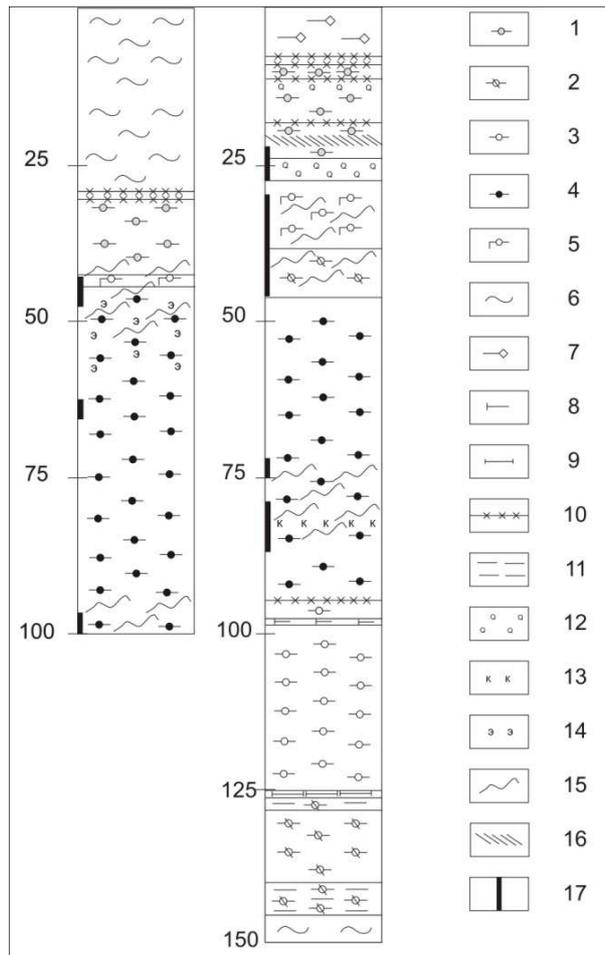


Рисунок 2 – Колонки скважин рудопроявления Няльм-1.

- Условные обозначения: 1 – плагиогранит-порфиры; 2 – гранит-порфиры;
3 – гранодиорит с сегрегациями биотита, 4 – диорит с сегрегациями биотита,
5 – габбродиорит; 6 – углеродистые мусковитовые и кианит-мусковитовые сланцы;
7 – роговообманковый амфиболит; 8 – дайки пикритов; 9 – перидотиты,
10 – зоны дробления и милонитизации; 11 – зоны рассланцевания, 12 – окварцевание,
13 – карбонатизация; 14 – эпидотизация; 15 – кварцевое прожилкование;
16 – березитизация; 17 – участки керна с видимым золотом

Возраст интрузий данного комплекса оценен U-Pb методом по циркону, морфологические и изотопные характеристики которого отражают кристал-

лизацию минерала из магматического расплава. Возраст интрузии г. Няльмчечуайв составил 2825 ± 7 млн лет [4]. Сходный (в пределах ошибки) возраст установлен для кварцевых порфиров рудопроявления золота Оленинское и для гранит-порфиров г. Пеллапахк [4].

Одна из изученных буровых скважин пересекла интрузию на полную мощность (рис. 2), другая была остановлена в теле диоритов. Контакты штокверка с вмещающими толщами тектонические (либо тектонизированные). Северный контакт представляет собой зону дробления и милонитизации пород мощностью около 5 м. В южном контакте находится зона рассланцевания гранит-порфиров мощностью около 10 м, причем интенсивность рассланцевания порфиров увеличивается по мере приближения к контакту с углеродистыми сланцами.

Интрузия дифференцированная, состав пород меняется от среднего (габбродиориты) до кислого (гранит-порфиры). По объему преобладают диориты и гранодиориты, слагающие центральную часть интрузии. Краевые зоны сложены кислыми разностями пород – плагиогранит- и гранит-порфирами. Габбродиориты в изученных скважинах отмечены в северном, висячем боку интрузии, между плагиогранит-порфирами и диоритами, мощность зоны габбродиоритов от 2 до 15 м, но ранее аналогичные породы отмечались и в ее южной части в сходной геологической позиции.

Для кислых разностей пород характерна порфировая текстура, порфировые вкрапленники до 2 мм размером представлены преимущественно кварцем, реже плагиоклазом. Основная ткань породы тонкозернистая (сотые доли мм), сложена агрегатом полевых шпатов (главным образом, это плагиоклаз, в гранит-порфирах отмечен также микроклин до 5 %), биотитом, кварцем, иногда с мусковитом и клиноцоизитом. Породы среднего состава имеют пятнистую текстуру благодаря сегрегациям темноцветных минералов. Для диоритов характерны сегрегации биотита (иногда с клиноцоизитом, карбонатом, турмалином) размером до 5 мм в тонкозернистой массе биотит-клиноцоизит-плагиоклазового состава. В габбродиоритах присутствуют гломеробласты роговой обманки, иногда вместе с биотитом.

По составу породы интрузии относятся к известково-щелочному ряду, содержание кремнезема варьирует от 54 % в габбродиоритах до 72 % в гранит-порфирах [4]. Щелочность пород умеренная, сумма щелочей от 2,8 до 7,2 мас.% (в большинстве проб от 5 до 7 мас.%). Породы существенно железистые: показатель железистости находится в пределах 0,65–0,80, и только в габбродиоритах ниже – 0,5. Содержание малых элементов близко к клар-

ковым значениям для средних и кислых пород, повышено только содержание хрома и никеля [4]. Такие геохимические характеристики отличают гранодиориты интрузии г. Няльмчечуайв от пород этого же комплекса в районе рудопроявлений Пеллапахк-Оленинское, где повышено содержание меди, молибдена, свинца, серебра, цинка [5].

Характер метасоматического изменения габбродиоритов-диоритов-гранодиорит-порфиров отличен от изменения кварцевых порфирах в районе Пеллапахк – Оленинское и по минеральному составу новообразованных фаз, и по интенсивности. Отмечены березитизация (кварц-серицит-карбонатные метасоматиты) гранодиорит-порфиров, клиноцоизит-биотитовые ("гнезда" до 5 мм) и карбонат-актинолит-биотитовые (секущие прожилки) метасоматиты по диоритам, эпидотизация (клиноцоизит) и карбонатизация всех пород. Доля новообразованных минералов не превышает 20–25 %. Еще более широко проявлены окварцевание и карбонат-кварцевое прожилкование. Установлено несколько зон прожилкования, которые можно сгруппировать в два линейных штокверка мощностью до 15 м, ориентированные параллельно удлинению интрузивного тела. Насыщенность прожилками до 10 %, но в двух зонах прожилкования мощностью 3 и 0,8 м повышается до >80 %. Возможно, именно такие зоны интенсивного окварцевания были ранее задокументированы как кварцевые жилы.

Мощность прожилков обычно составляет первые миллиметры, редко до 1 см и более. Кварц в прожилках мелко- среднезернистый, обычный размер зерен менее 1 мм. Карбонат тяготеет к внешним частям прожилков. В экзоконтактовых зонах прожилков повышено содержание карбоната и биотита, биотит нередко образует меланократовые "оторочки" мощностью около 1 мм, чешуйки слюды ориентированы перпендикулярно прожилку.

Рудная минерализация в породах комплекса габбродиоритов-диоритов-гранодиорит-порфиров обычно менее 1 об.%, в карбонат-актинолит-биотитовых метасоматитах и в кварцевых прожилках повышается до 3 % породы. Среди сульфидов резко преобладает пирротин, в котором отмечаются вросстки халькопирита, пирита, редко сфалерита и пламеневидного пентландита, а также арсенопирит и кобальтин. Из минералов класса окислов установлены рутил и ильменит.

Видимое золото обнаружено только в пределах прожилков практически во всех зонах прожилкования (рис. 2). Размер золотинок до 0,7 мм. Зерна золота идиоморфные, изолированные в кварце, располагаются чаще всего

в центральной части прожилков, реже – в их эндоконтактовой зоне; сростания с сульфидами не характерны. Золото высокопробное (870–920) [1, 2].

Рудопроявление золота относится к золото-кварцевой формации и по особенностям геологического строения, минералого-петрографическим и геохимическим характеристикам представляет иной генетический тип, чем расположенное в 20 км к северу рудопроявление Оленинское (табл. 1) и находящееся в непосредственной близости рудопроявление Няльм-2.

Таблица 1 – Сравнительная характеристика рудопроявлений Оленинское и Няльм-1

	Оленинское (по [6])	Няльм-1
Вмещающие комплексы	Габбро-амфиболиты хр. Оленьего, глиноземистые сланцы	Габбро-амфиболиты хр. Оленьего, углеродистые сланцы
Магматические формации	Дайки кварцевых порфиров (дорудные), пегматитовые жилы (пострудные)	Шток габбродиоритов-диоритов – гранодиоритовых порфиров
Метаморфизм	Амфиболитовая фация (Т = 500-550 °С, Р = 3.0–3.5 кбар)	
Рудоконтролирующие структуры	Зоны метасоматического изменения даек кварцевых порфиров и вмещающих их габбро-амфиболитов на площади 900х50 м	2 линейных штокверка карбонат-кварцевых прожилков, площадь оруденелой зоны ~45х160 м
Околорудные изменения	Биотитизация, окварцевание, диопсидизация, эпидотизация, развитие скарноидов, турмалинизация амфиболитов, развитие мусковитовых кварцитов по кварцевым порфирам	Березитизация, клиноцоизит-биотитовые и карбонат-актинолит-биотитовые метасоматиты, эпидотизация (клиноцоизит), карбонатизация, карбонат-кварцевое прожилкование
Морфология рудных тел	Серия из 6 рудных линз мощностью 1.8–3.5 м при протяженности до 150 м, среднее содержание золота 7.6 г/т	Две линейных штокверковых зоны мощностью до 15 м. Среднее содержание золота в штокверке 1.2 г/т; на участках сгущения кварцевых прожилков 9.0 г/т – 14 г/т Au [3]
Минеральный состав руд	Пирротин, арсенопирит, халькопирит, ильменит, рутил, сфалерит, золото, электрум, леллингит, фрейбергит, сульфосоли Pb, Ag, Sb, стибниды Ag и Au, акантит	Пирротин, халькопирит, пирит, арсенопирит, кобальтин, ильменит, рутил, сфалерит, пентландит, золото
Золото	4 генерации, различающиеся по морфологии, ассоциации с сульфидами, составу (от самородного серебра до высокопробного золота (900–945)), размер зерен до 0,3 мм	Золото в кварце в прожилках, самородное, высокопробное (870–920), размером до 0,7 мм
Рудная формация	Золото-сульфидно-кварцевая	Золото-кварцевая

Наиболее близким аналогом рудопроявления Няльм-1 в Карело-Кольском регионе является рудопроявление Таловейс в Костамукшском зеленокаменном поясе [7]. Сходная минерализация (в карбонат-кварцевых жилах и прожилках в кварцевых порфирах) известна и на других докембрийских щитах, например, на месторождении Сигма Майн в Канаде [8].

Библиографический список

1. Недра Северо-Запада Российской Федерации / В. А. Коровкин, Л. В. Турылева, Д. Г. Руденко, В. А. Журавлев, Г. Н. Ключникова. – Санкт-Петербург : Изд. "ВСЕГЕИ". – 2003. – 754 с.

2. Калинин А. А., Кудряшов Н. М., Галкин Н. Н. Рудопроявления золота, меди и молибдена в зеленокаменном поясе Колмозеро-Воронья (Кольский полуостров): геологические особенности и возраст / Золото Кольского полуострова и сопредельных территорий. Апатиты. 2010. С. 51–59.

3. Ovoca Gold plc Operational Update 13/09/2007 [Электронный ресурс] http://www.ovocagold.com/upload/20070913_ayah__kola_&_goltsovoye_update.pdf (дата обращения 02.04.2017)

4. Кудряшов Н. М., Калинин А. А., Лялина Л. М., Серов П. А., Елизаров Д. В. Геохронологические и изотопно-геохимические характеристики пород, вмещающих рудопроявления золота архейского зеленокаменного пояса Колмозеро-Воронья (Кольский регион) // Литосфера. 2015. № 6. С. 83–100.

5. Белолипецкий А. П., Калинин А. А., Петров С. И. Минералогия и геохимия метасоматитов зон глубинных разломов. Апатиты : изд. Кольского филиала АН СССР, 1987. 115 с.

6. Калинин А. А., Савченко Е. Э., Селиванова Е. А. Минералы благородных металлов в Оленинском рудопоявлении золота, пояс Колмозеро-Воронья (Кольский полуостров) // Записки РМО. 2017. № 1. С. 43–58.

7. Кулешевич Л. В., Фурман В. Н. Золоторудное месторождение Таловейс в Костомукшской зеленокаменной структуре (Карелия) // Геология рудных месторождений. 2009. Т. 51. С. 58–76.

8. Olivo G. R., Chang F., Kyser T. K. Formation of the auriferous and barren north dipper veins in the Sigma Mine, Val d'Or, Canada: constraints from structural, mineralogical, fluid Inclusion, and isotopic data // Economic Geology. 2006. V. 101. P. 607–631.

Альтернативный подход к исследованию минералого-геохимических характеристик пород: на примере редкоземельных карбонатитов г. Петяйян-вара (массив Вуориярви, Кольский регион)

Козлов Е. Н.^{1,2}, Фомина Е. Н.¹, Мыца Д. Д.³, Киркин В.В.²

¹ (г. Апатиты, ФГБУН Геологический институт Кольского научного центра РАН, e-mail: kozlov_e.n@mail.ru, efom-10@ya.ru)

² (г. Апатиты, Апатитский филиал ФГБОУ ВО "Мурманский государственный технический университет", кафедра геологии и полезных ископаемых)

³ (г. Санкт-Петербург, ФГБОУ ВО "Санкт-Петербургский государственный университет", Институт Наук о Земле, кафедра геологии месторождений полезных ископаемых)

Аннотация. Разработана новая методика прямого статистического сопоставления геохимических и минералогических данных. Ее применение позволяет определять минеральный состав пород; производить направленный поиск интересующих минералов; выявлять фазы-концентраторы; создавать минералого-геохимические модели объектов. Данная методика была успешно апробирована при исследовании редкоземельных карбонатитов г. Петяйян-вара (массив Вуориярви, Кольский регион).

Abstract. In the course of the study we developed a new methodology of direct statistical comparison of geochemical and mineralogical data. Its application makes it possible to determine the mineral composition of rocks; to conduct a directed search for minerals of interest; to identify phases-concentrators; to create mineralogical-geochemical models of objects. This technique was successfully tested in the study of the rare earth carbonatites of the Petyayanvara Mountain (the Vuori-yarvi massif, Kola region).

Ключевые слова: рентгеновская дифракция, факторный анализ, редкоземельные карбонатиты, Вуориярви, Кольский регион.

Key words: X-ray diffraction, factor analysis, rare earth carbonatites, Vuori-yarvi, Kola region.

В практике геологических исследований обычным является простое сравнение геохимической информации и итогов минералогического изучения, полученных независимо друг от друга. При этом в ходе отбора геохимических проб геологи стремятся к их максимальной представительности, для чего прибегают к специальным методикам пробоотбора (отбор штуфов "конвертом", сборно-сколковое и бороздовое опробования и др.). Цель всех отмеченных методик – охарактеризовать значительный объем породы. В то же время при минералогических исследованиях, напротив, доминируют локаль-

ные методы (микрозонд, LA-ICP-MS и др.), а сами препараты (шлифы, шайбы) представляют двухмерные срезы пород субдюймовой площади. Таким образом, происходит сравнение объектов разного масштаба: геохимические данные характеризуют значительный объем породы, в то время как минералогические – лишь ее параметры "в точке", хотя эти параметры и экстраполируются на тот же объем, для которого получена геохимическая информация. Нами разработан методический подход, позволяющий производить прямое статистическое сопоставление геохимической и минералогической информации. В качестве первичных данных выступают содержания петрогенных и редких элементов в валовых пробах, а также рентгеновские дифрактограммы тех же проб. Таким образом, исследованию подвергается единый объем вещества, что представляется более корректным.

Предпосылки предлагаемого подхода следующие. На дифрактограммах каждый минерал характеризуется неповторимым набором пиков, которые в случае полиминеральной смеси суммируются по принципу суперпозиции. При этом интенсивность пиков минерала на результирующем спектре является функцией от его содержания в смеси, а интенсивности отдельных пиков каждого минерала пропорциональны друг другу, а следовательно скоррелированы. Эти свойства являются основой качественного и количественного рентгенофазового анализа [2]. Они же позволяют при разделении скрытой в дифракционных картинах информации, относящейся к различным минеральным фазам, в качестве "сита" использовать факторный анализ (ФА), так как данный вид статистической обработки ориентирован именно на выделение скоррелированных составляющих данных [3, 4]. Для исследования помимо дифрактограммы каждое наблюдение (проба) дополнительно было охарактеризовано химическим составом.

Факторы, выделяемые в результате обработки такой синтетической информации, обладают дуализмом: с одной стороны они сугубо "минералогические" (99 % анализируемых переменных несут информацию именно об этом аспекте), с другой – объясняют дисперсию геохимических данных. Интерпретация факторов не вызывает сложностей, так большинство графиков факторных нагрузок имеет поразительное сходство с рентгеновскими дифрактограммами минералов из специализированных баз данных (ICDD PDF-2, AMCSD, RRUFF и др.) (рис. 1).

Предлагаемый метод позволяет решить широкий спектр задач: (А) определение минерального состава пород; (Б) направленный поиск в коллекции

образцов, содержащих интересующий минерал; (В) выявление фаз-концентраторов тех или иных компонентов.

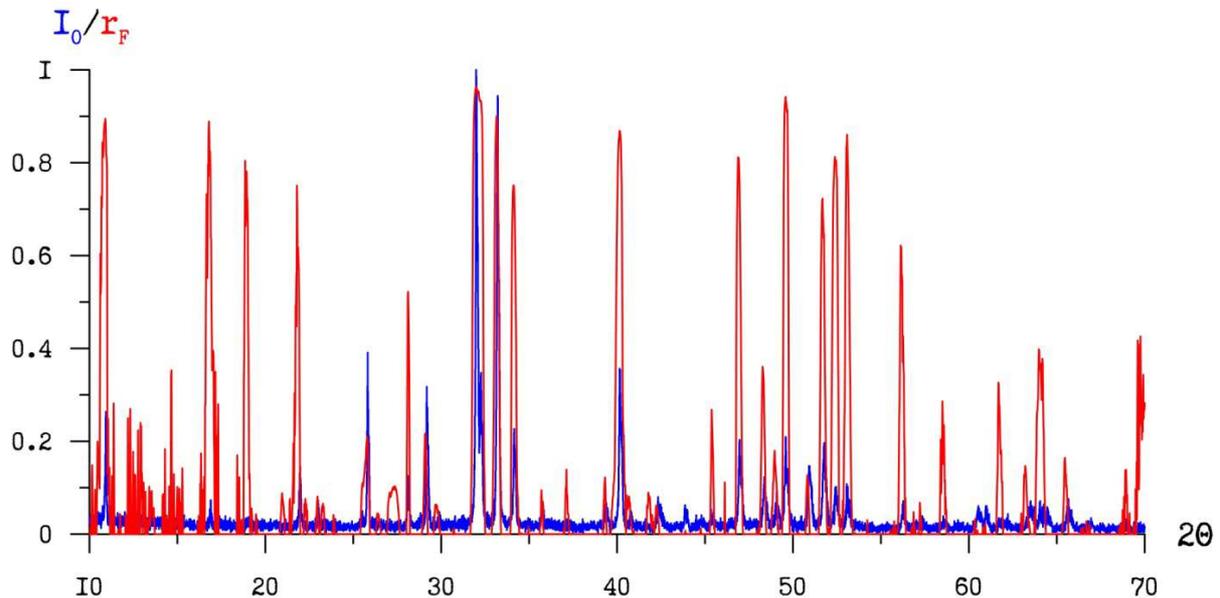


Рисунок 1 – Сопоставление рентгеновской дифрактограммы фтор-апатита из базы данных RRUFF [1] (анализ R050529, синяя линия; I_0 – относительные интенсивности, величина наибольшего пика принята за 1) со значениями факторных нагрузок (r_F) на выявленный фактора апатита (красная линия, отрицательные факторные нагрузки для упрощения исключены), для значений 2θ из диапазона 10–70°

Проиллюстрируем это на примере исследования редкоземельных карбонатитов Петяйян-вара (Вуори-ярви, Кольский регион), в ходе изучения которых и был разработан рассматриваемый подход. Они представляют собой поздние магнезиокарбонатиты, согласно геологическим наблюдениям развивающиеся метасоматическим путем по кальциокарбонатитам. Привлекательность объекта состоит в том, что он (1) потенциально рудоносный (в большинстве из 43 исследованных проб >1 мас.% REE₂O₃) и (2) практически не изученный.

Использование метода позволило:

– (задача А) выявить все минералы, влияющие на распределение петрогенных и редких элементов – доломит (Fe, Mn), анкерит, кальцит, стронцианит, анкилит – (Ce), гидроксил-бастнезит – (Ce), барит, кварц, микроклин, альбит, флогопит, эгирин, фтор-апатит, гётит;

– (задача Б) с помощью рентгенофазового анализа по единичным зернам и микронзондового исследования без труда обнаружить все эти фазы в образцах, "предсказанных" высокими значениями факторов;

– (задача В) исходя из значений факторных нагрузок установить, что в исследованных образцах основной объем Sr и REE содержится в анкилите – (Ce), а не в стронцианите и гидроксил-бастнезите – (Ce); что главный носитель Si в исследованной выборке – не кварц, а микроклин; что на распределение Na в равной мере оказывают влияние альбит и эгирин и т. п.

Необходимо отметить, что корректность исследования на всех этапах контролировалась независимыми "классическими" методами. Совокупность результатов решения рассмотренных задач позволяет создать статистически значимую и интерпретируемую минералого-геохимическую модель объекта на самых ранних этапах исследования (вся первичная информация может быть получена экспрессно!). Так, для карбонатитов Петяйян-вара были выявлены и минералогически охарактеризованы процессы, вызвавшие обогащение HFSE и REE, а также эффективное разделение геохимически сходных элементов (LREE и HREE; Ti-Nb-Ta и Zr-Hf) (рис. 2).

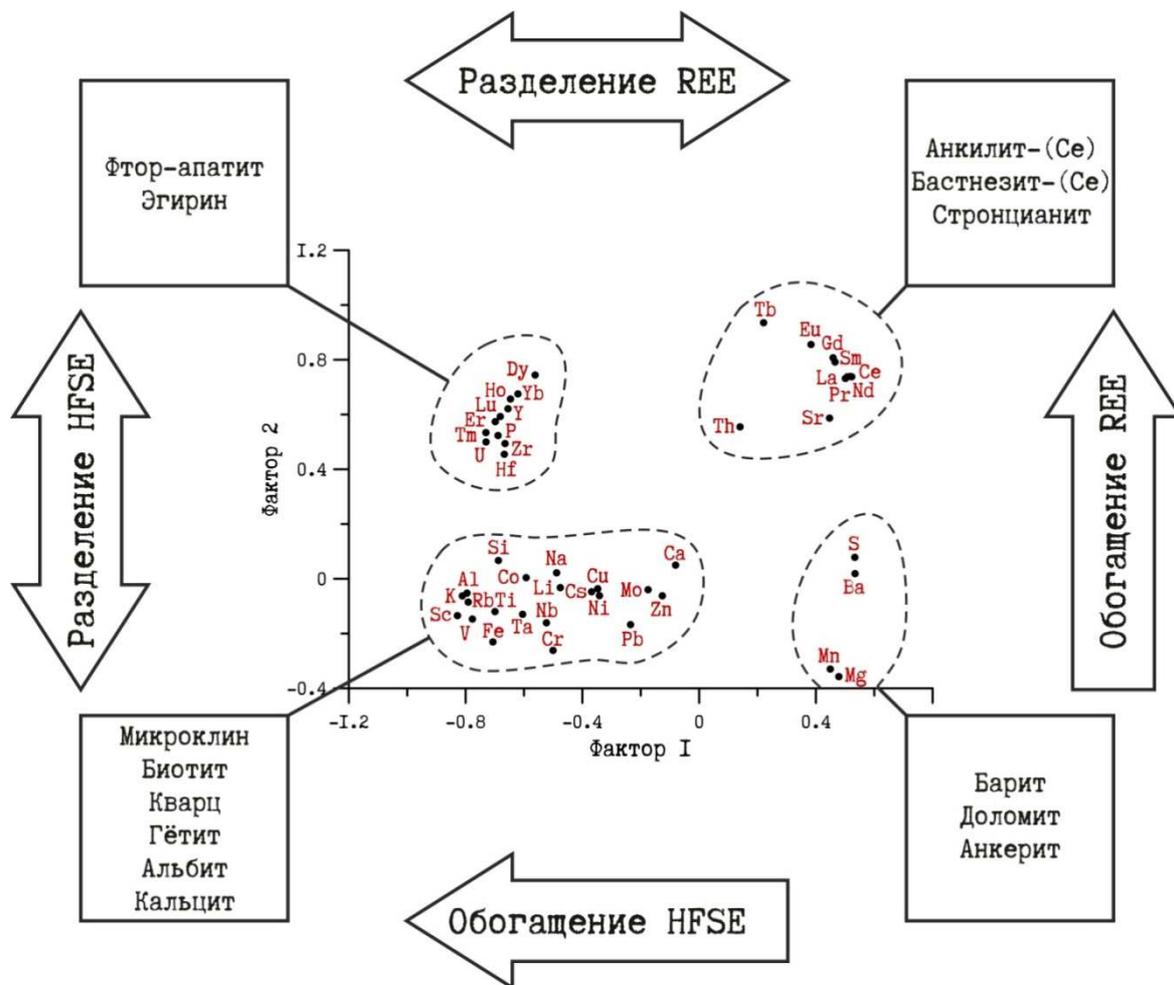


Рисунок 2 – Минералого-геохимическая модель редкоземельных карбонатитов г. Петяйянвара (Вуориярви, Кольский полуостров)

Пример исследования редкоземельных карбонатитов Петяйян-вара показывает эффективность предлагаемого подхода для всестороннего изучения сложных геологических объектов, в образование которых было вовлечено несколько наложенных процессов. Его можно использовать как при фундаментальных исследованиях, так и в производственных целях.

Работа выполнена в Геологическом институте Кольского научного центра РАН по государственному заказу № 0231-2015-0009 при финансовой поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований (проект № 16-35-00132).

Библиографический список

1. Downs R. T. The RRUFF Project: an integrated study of the chemistry, crystallography, Raman and infrared spectroscopy of minerals // Program and Abstracts of the 19th General Meeting of the International Mineralogical Association in Kobe, Japan. 2006. P. 117.
2. Jenkins R. X-ray Techniques: Overview // Encyclopedia of Analytical Chemistry / R.A. Meyers (Ed.). Chichester : John Wiley & Sons Ltd, 2000. P. 13269-13288.
3. Jöreskog, K. G. Geological factor analysis / K. G. Jöreskog, J. E. Klovan, R.A. Reyment. Amsterdam: Elsevier, 1976. 178 p.
4. Le Maitre R. W. Numerical petrology: statistical interpretation of geochemical data. Amsterdam : Elsevier, 1982. 281 p.

Возможная причина своеобразия состава пород Кейвского домена (Кольский полуостров)

**Козлов Н. Е.^{1,2}, Фомина Е. Н.¹, Мартынов Е. В.^{1,2}, Сорохтин Н. О.^{1,2,3},
Марчук Т. С.¹**

¹ (г. Апатиты, Геологический институт КНЦ РАН)

² (г. Апатиты, Апатитский филиал ФГБОУ ВО "Мурманский государственный технический университет")

³ (г. Москва, Институт океанологии имени П. П. Ширшова РАН)

Аннотация. В пределах Кейвской структуры встречаются метаосадочные образования, по содержанию титана, а также отношению Al_2O_3/SiO_2 отличные как от метаосадочных раннедокембрийских породных ассоциаций Кольского региона, так и от фанерозойских осадочных комплексов. Авторами была предпринята попытка поиска обобщенного показателя (тренда), описывающего характер изменения химического состава пород при переходе от низкотитанистых разновидностей пород к высокотитанистым (при одновременном росте отношения Al_2O_3/SiO_2). Для решения этой задачи был использован метод поиска отличий в заданных рядах совокупностей при введенном исследователем отношении частичного порядка. Положение на данном обобщенном показателе точек составов пород всех толщ разреза Кейвского домена, взятых на удалении или вблизи щелочных гранитов, соответствует положению менее или более титанистых пород, тем самым подтверждая предположение о метасоматической переработке последних. Тот факт, что метасоматической переработке, связанной, вероятнее всего, с архейскими комплексами щелочных гранитов, подвержены все метаосадочные образования Кейв, позволяет говорить об их архейском возрасте.

Abstract. Within Keivy structure there are metasedimentary formations that differ from both Early Precambrian metasedimentary rock associations of the Kola region and Phanerozoic sedimentary complexes in the content of titanium and the ratio Al_2O_3/SiO_2 . The authors attempted the search of the generalized indicator (trend), describing the nature of changes in the chemical composition of the rocks in the transition from Low-Ti to High-Ti varieties of rocks (with simultaneous increase in the ratio Al_2O_3/SiO_2). To solve this problem the method of search of differences in the specified number of sets was used with the partial order relation introduced by the researcher. The location on this generalized indicator of the points of rock compositions of all strata of the geological section of the Keivy domain taken far or close to alkaline granites corresponds to the position of less or more titaniferous rocks, thus confirming the assumption of a metasomatic alteration of the latter. The fact that all the metasedimentary Keivy formations are subjected to metasomatic alteration most probably related to the Archean complexes of alkaline granites, allows us to speak about their Archean age.

Ключевые слова: региональная геология, геохимия, эволюция состава, супракрустальные породы, докембрий, протолиты, реконструкция, метасоматоз, седиментогенез, эволюционный тренд.

Key words: regional geology, geochemistry, evolution of the composition, supracrustal rocks, Precambrian, protoliths, reconstruction, metasomatism, sedimentogenesis, evolutionary trend.

Кейвский домен отличается от других структур Кольского региона своеобразием состава метаморфических комплексов, наличием в его пределах древнейших для региона щелочных гранитов и ассоциирующих с ними габброанортозитов, а также уникальных месторождений полезных ископаемых. Ранее было показано, что в пределах Кейвской структуры встречаются метаосадочные образования, по содержанию титана, а также отношению Al_2O_3/SiO_2 отличные как от метаосадочных раннедокембрийских породных ассоциаций Кольского региона, так и от фанерозойских осадочных комплексов [1]. Исследование, проведенное с привлечением дополнительных фактических данных по архейским структурам региона (около 1 200 полных силикатных анализов), подтверждает правильность этого вывода (рис. 1). Фоновое значение содержания титана в метаосадочных породах архея Кольского региона меньше, чем в аналогичных образованиях Кейв.

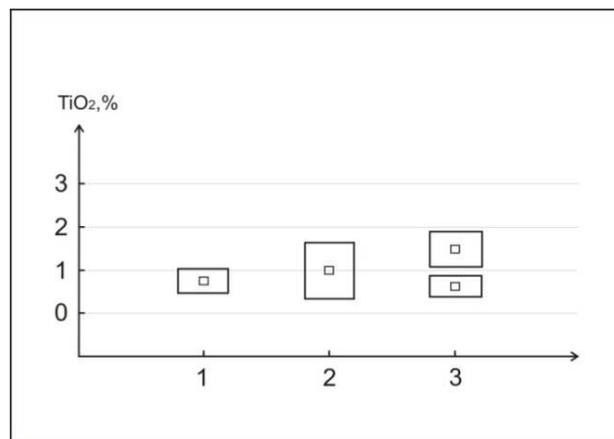


Рисунок 1 – Медианные и фоновые значения содержания TiO_2 в архейских метаосадочных образованиях Кольского региона (1) и Кейвской структуры (2), а также кейвских метаосадочных породах, разделенных на подгруппы с повышенным ($> 1\%$) и "нормальным" ($< 1\%$) содержанием TiO_2 (3). Расчеты по методике [2]

Эти особенности могли определяться их постседиментационными изменениями в результате регионально проявленных метасоматических преобразований, что уже предполагалось ранее [3]. В настоящей работе была предпринята попытка поиска обобщенного показателя (тренда), описывающего характер этих изменений. Для решения этой задачи был использован метод поиска отличий в заданных рядах совокупностей при введенном исследователем отношении частичного порядка. Для исследования вещественного состава горных пород Кейвского домена была использована следующая модель. Домен представлен совокупностью объектов, входящих в его

состав $D = \{D_i\}$. Каждый из этих объектов D_i охарактеризован выборкой химических составов слагающих его пород $X_i = \{X_{ij}\}$ в признаковом пространстве размерности n , где n – число параметров химического состава. Для оценки качества описания разбиения домена $D = \{D_i\}$, а также для дальнейшего исследования поставленных перед нами задач, с помощью совокупности выборок $X = \{X_i\}$ можно использовать один из следующих критериев: "сильный", "слабый" и их комбинацию. А именно, "сильный" – для непересекающихся выпуклых оболочек и "слабый" – для пересекающихся.

Первым шагом решения задачи была оценка степени полноты информации об объекте, т. е. возможность разбиения D с помощью X . Для этого рассматривались выпуклые оболочки множества выборок $\{X_i\}$, а именно $\{co(X_i)\}$, где $co(X_i) = \{\sum_j \alpha_j * X_{ij} \mid \alpha_j \geq 0 \forall j, \sum_j \alpha_j = 1\}$. В этом случае расстояние между двумя выпуклыми оболочками $co(X_i)$ и $co(X_j)$ определяется как $\rho(co(X_i), co(X_j)) = \min d(x, y)$, где $x \in co(X_i)$, $y \in co(X_j)$ и $d(x, y)$ – евклидово расстояние между векторами x и y . Оптимальным является такое описание X , для которого любые две пары $co(X_i)$ и $co(X_j)$ не пересекаются, т. е. $\rho(co(X_i), co(X_j)) > 0$ ("сильный" критерий). Алгоритм проверки отсутствия пересечений выпуклых оболочек (алгоритм "полоска") приведен в работе [4]. В случае наличия пересечений можно использовать так называемый "слабый" критерий. Он заключается в следующем. Вычисляется статистика Пури-Сена-Тамуры между всеми пересекающимися парами X_i и X_j . И если при выбранном уровне значимости δ ее значение больше критического, то реализуется "слабый" критерий. В противном случае описание разбиения D с помощью X некорректно.

Для описания характера изменения параметров химического состава горных пород под воздействием различного рода геологических процессов была использована система обобщенных показателей [5]. В качестве обобщенных показателей выбирались линейные функции, характеризующие собой тренды изменения параметров вещественного состава породных ассоциаций в заданных рядах совокупностей этих ассоциаций, охарактеризованные выборками химических составов пород, на основе введенных исследователем на них отношений частичного порядка [6, 7]. Суть метода построения системы обобщенных показателей заключается в следующем. Для каждого из отношений частичного порядка строится отношение линейного порядка (если оно существует), описание которого представлено соответствующим обобщенным показателем. Такой показатель находим в результате решения

задачи максимизации функционала $J = \max_c \min_U (\Lambda(c, Z_i), \Lambda(c, Z_j))$. Здесь Z_i и Z_j – многомерные случайные величины соответствующие i -ой и j -ой выборкам, $U = \{ \langle Z_i, Z_j \rangle \mid Z_i < Z_j \}$ – отношение частичного порядка, $\langle Z_i, Z_j \rangle$ – пары случайных величин, $Z_i < Z_j$ – Z_i предшествует Z_j для отношения U , Λ – ранговая статистика Пури-Сена-Тамуры [8] c – вектор коэффициентов линейной функции (обобщенного показателя). Для решения поставленной задачи нами был использован метод Нелдера-Мида [9]. В случае если при выбранном уровне значимости α (обычно выбирают $\alpha = 0,05$ или $\alpha = 0,01$) квантиль χ^2 – распределения с одной степенью свободы меньше вычисленного J , то делается вывод существования линейного порядка, представленного вектором c , соответствующего заданному частичному U .

Особо следует подчеркнуть, что в настоящей работе изучались метаморфиты, по особенностям состава соответствующие осадочным образованиям [1, 3]. Это определило малый объем использованных в работе анализов пород лебяжинской свиты, как известно, сложенной преимущественно метавулканитами. Заметим, что возможная ошибка реконструкции первичной природы при решении поставленных в работе задач не являлась принципиальной. Определяющим было то, что сравнивались однотипные в рамках принятой петрогеохимической систематики породы. На первом этапе решения задачи качестве информационной основы были выбраны однотипные одновозрастные образования, а именно метапелиты червуртской свиты Кейвской серии (выборка включала более 450). В качестве обязательного условия при решении данной задачи было задано одновременное возрастание содержания титана и величины отношения Al_2O_3/SiO_2 . Чтобы исключить влияние дометаморфических процессов и эволюцией состава пород в ходе геологического времени, в качестве основы для решения данной задачи были выбраны однотипные одновозрастные образования, а именно метапелиты червуртской свиты Кейвской серии (более 450 полных силикатных анализов).

Такой выбор был обусловлен тем, что данная свита при довольно значительной мощности наиболее отчетливо выделяется в кейвском разрезе максимальным развитием метапелитов, реконструкция которых наиболее достоверна. Такой показатель был найден (рис. 2, А). Он описывает процесс, который кроме существенного привноса титана сопровождался одновременным возрастанием содержания CaO и уменьшением содержания Al_2O_3 , ΣFe и Na_2O . Необходимо подчеркнуть, что полученный тренд не связан в гипер-

генными процессами, для которых характерно сходное поведение титана с алюминием и железом, особенно отчетливо проявленное при формировании кор выветривания.

Положение на данном обобщенном показателе точек составов пород всех толщ разреза Кейвского домена, взятых на удалении или вблизи щелочных гранитов, соответствует положению менее или более титанистых пород, тем самым подтверждая предположение о метасоматической переработке последних (рис. 2, В). Тот факт, что метасоматической переработке, связанной, вероятнее всего, с архейскими комплексами щелочных гранитов, подвержены все метаосадочные образования Кейв, что подтверждается и прямыми геологическими наблюдениями о взаимоотношения лебяжинских и червуртских породных комплексов со щелочными гранитами (рис. 2, С), позволяет говорить об их архейском возрасте.

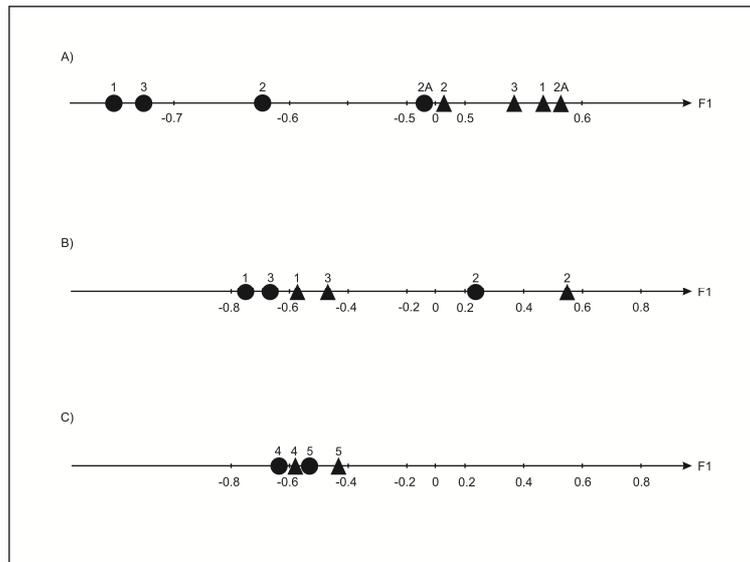


Рисунок 2 – Положение медиан состава различных групп метаосадочных пород Кейвского домена на обобщенном показателе (тренде) $F_1 = -0,09SiO_2 + 0,93TiO_2 + 0,05Al_2O_3/SiO_2 - 0,26Al_2O_3 - 0,11 \Sigma Fe - 0,06MnO - 0,08 MgO + 0,12 CaO - 0,13Na_2O - 0,01K_2O$. Кружками показаны относительно менее измененные, а треугольниками – более измененные породы. Цифрами на всех рисунках обозначены метаосадочные породы лебяжинской (1), червуртской (2), песчовотундровской и снежноборской (3) толщ, а также метаморфиты детальных разрезов в приконтактных зонах в пределах лебяжинских (4) и червуртских (5) образований. 2А – метапелиты червуртской толщи. Буквами на рисунке обозначены породы, разделенные на подгруппы по содержанию TiO_2 (А), степени близости к массивам щелочных гранитов (В). С – данные для пород, отобранных непосредственно в зоне контактов со щелочными гранитами и разделенные на условно более или менее измененные по результатам петрографического изучения

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. Своеобразие вещественного состава пород Кейвской структуры определялось регионально проявленными метасоматическими процессами, которые, кроме привноса TiO_2 приводили к выносу Al_2O_3 , Na_2O и ΣFe при незначительном варьировании содержания остальных петрогенных элементов. Подобные изменения состава, выявленные для пород различных уровней разреза Кейвской структуры, нельзя объяснить влиянием гипергенных процессов, для которых характерно сходное поведение титана, алюминия и железа, что особенно отчетливо проявлено при формировании кор выветривания.

2. В направлении к щелочным гранитам в супракрустальных комплексах наблюдается усиление влияния метасоматических процессов, что находит отражение в изменении химического состава пород. Для метаморфитов лебяжинской и червуртской толщ это подтверждается также прямыми петрографическими и геологическими наблюдениями. Тот факт, что процессы, связанные со щелочными гранитами, для которых зафиксировано время внедрения 2751 ± 41 млн лет [10], затрагивают весь разрез Кейвской структуры, свидетельствует об архейском возрасте формирования ее протолитов.

Работа выполнена в Геологическом институте Кольского научного центра РАН по государственному заказу № 0231-2015-0007

Библиографический список

1. Козлов Н. Е., Сорохтин Н. О., Глазнев В. Н., Козлова Н. Е., Иванов А. А., Кудряшов Н. М., Мартынов Е. В., Тюремнов В. А., Матюшкин А. В., Осипенко Л. Г. Геология архея Балтийского щита. СПб. : Наука, 2006. 329 с.

2. Юфа Б. Я., Гурвич Ю. М. Применение медианы и квартилей для оценки нормальных и аномальных значений геохимического поля // Геохимия. 1964. № 8. С. 817–824.

3. Козлов Н. Е., Сорохтин Н. О., Мартынов Е. В., Фомина Е. Н. Особенности вещественного состава Кейвского домена (Кольский полуостров) // Вестник КНЦ РАН. 2016. № 2 (25). С. 30–38.

4. Фомин В. Н. Математическая теория обучаемых опознающих систем. Л. : ЛГУ, 1976. 235с.

5. Авен П. О., Мучник И. Б., Ослон А. А. Функциональное шкалирование. М., Наука, 1988. – 182 с.

6. Мартынов Е. В. Реконструкция обстановок формирования протолитов метаморфических комплексов докембрия на основе статистического моделирования их характеристик по петрогеохимическим данным: автореф. дисс. канд. геол.-мин. наук. СПб., 1997. 23 с.
7. Мартынов Е. В., Козлов Н. Е., Сорохтин Н. О., Марчук Т. С., Фомина Е. Н. Метод реконструкции геодинамических обстановок формирования комплексов докембрия с учетом эволюции химического состава мантии // Вестник КНЦ РАН. 2016. № 3 (26). С. 22–27.
8. Родионов Д. А., Коган Р. И. Голубева В. А. [и др.]. Справочник по математическим методам в геологии. М. : Недра, 1987. 335 с.
9. Nelder J. A., Mead R., A Simplex Method for Function Minimization // Computer J. 1964. No.7. P. 308–313.
10. Беляев О. А., Митрофанов Ф. П., Баянова Т. Б. [и др.]. Позднеархейский возраст кислых метавулканитов района Малых Кейв (Кольский полуостров) // Докл. РАН. 2001. Т. 379, № 5. С. 651–654.

Выпуклые оболочки и реконструкция геодинамических режимов (геохимический аспект)

Мартынов Е.В.^{1,2}, Марчук Т.С.¹

¹ (г. Апатиты, Геологический институт КНЦ РАН)

² (г. Апатиты, Апатитский филиал ФГБОУ ВО "Мурманский государственный технический университет")

Аннотация. Предложен метод описания структуры совокупностей множеств в виде семейства кластеров, представленных выпуклыми оболочками образов этих множеств охарактеризованных содержаниями петрогенных элементов. Показано, что эти выпуклые оболочки образов для объектов фанерозоя реализующих геодинамические режимы их формирования представленных породами базальтового состава (эталоны) не пересекаются. Описаны методы реконструкции геодинамических обстановок формирования комплексов горных пород в докембрии на основе сопоставления химических составов горных пород докембрия и фанерозоя (эталонов).

Abstract. The method proposed in the article is used to describe the structure of a class of sets in the form of a family of clusters represented by the convex hulls of the images of these sets characterized by the contents of petrogenic elements. It is shown that these convex hulls of the images of Phanerozoic objects implementing geodynamic regimes of their formation represented by rocks of basaltic composition (reference standards) do not intersect. The article describes methods for reconstruction of geodynamic settings and formation conditions of rock complexes in the Precambrian. They are based on the comparison of chemical composition of rocks of the Precambrian and Phanerozoic time (reference standards).

Ключевые слова: реконструкция, геодинамические режимы, выпуклая оболочка, докембрий, фанерозой.

Key words: Reconstruction, geodynamic regimes, convex hull, the Precambrian, Phanerozoic time.

Достаточно часто при попытках моделирования различных геологических ситуаций с использованием математических методов исследователь сталкивается со следующей ситуацией: имеется совокупность объектов (эталонов) $D = \{D_i\}$ выделенных на основе геологической информации [1, 2]. При этом каждый эталон D_i охарактеризован конечным множеством точек (образом) $X_i = \{X_{ij}\}$ в многомерном признаковом пространстве R^n размерности n (здесь n – число параметров химического состава горных пород составляющих указанные эталоны). Задача заключается в том, чтобы найти наиболее надежный метод отнесения какого либо изучаемого объекта A , представленного образом $Z = \{Z_k\}$, т. е. неким конечным множеством точек в простран-

стве R^n , к одному из этих эталонов. В дальнейшем каждую отдельную точку признакового пространства будем называть реализацией образа.

Особенно актуален такой подход при попытках решения задачи реконструкции геодинамических режимов образования объектов докембрия [1, 9]. В этом случае в качестве множества эталонов D используются объекты фанерозоя сформировавшиеся в конкретных (известных) геодинамических обстановках. Вывод о принадлежности исследуемого объекта докембрия Z к одному из эталонов множества D осуществляется обычно на основе результатов проведенного дискриминантного анализа, процедуры кластеризации и последующего распознавания образов. Необходимо особенно подчеркнуть, что отнесение неизвестной реализации образа Z к тому или иному образу из множества $X = \{X_i\}$ производится на основании априорной модели. При этом делаются предположения либо о характере распределения генеральных совокупностей для X , либо о возможной структуре множеств реализаций образов, либо о типе допустимых правил принятия решений.

Для конкретных геологических объектов, к сожалению, как показывает практика, чаще всего ничего нельзя сказать о характере распределения реализаций образов из множества X , т. е. эти распределения нельзя аппроксимировать ни одним из известных классических распределений. Поэтому основным инструментом для решения вышеуказанной задачи является поиск описания структуры множеств реализаций образов. Для решения задачи описания структуры обычно используют процедуру кластеризации (выявление естественного расслоения исходных геологических наблюдений и объектов на четко выраженные группы – кластеры). Классическое определение кластера: скопление, пучок, группа элементов, характеризующихся каким-либо общим свойством. Таким образом, понятие кластера не имеет строгого математического определения, и содержательное наполнение этого понятия выбирается в зависимости от личных представлений исследователя, т. е. носит субъективный характер.

В качестве выхода из этой ситуации авторами было предложено использовать метод аппроксимации структуры реализаций образов кластерами, представленными выпуклыми оболочками образов множества X . В этом случае каждый кластер получает строго формализованное определение: кластер – это выпуклая оболочка образа соответствующего эталона.

Как известно, под выпуклой оболочкой образа X_i понимается множество $co(X_i)$, где $co(X_i) = \{\sum_j \alpha_j * X_{ij} \mid \alpha_j \geq 0 \forall j, \sum_j \alpha_j = 1\}$. В этом случае расстояние между двумя выпуклыми оболочками $co(X_i)$ и $co(X_j)$ определяется

как $\rho(\text{co}(X_i), \text{co}(X_j)) = \min d(x, y)$, где $x \in \text{co}(X_i)$, $y \in \text{co}(X_j)$ и $d(x, y)$ – евклидово расстояние между векторами x и y . Оптимальным является такое описание структуры множества X , для которого любые две пары $\text{co}(X_i)$ и $\text{co}(X_j)$ не пересекаются, т. е. $\rho(\text{co}(X_i), \text{co}(X_j)) > 0$.

Описанные в геологической литературе режимы формирования объектов подразделяются на срединно-океанические хребты, островные дуги (юные, развитые и зрелые), континентальные рифты и траппы [3, 4, 5]. Каждый из них представлен некоторым набором геологических объектов, сформировавшихся в условиях соответствующего режима, и следовательно определенным набором образов ("объединенной" выборкой). Поэтому авторы провели исследование расстояний между выпуклыми оболочками образов объектов фанерозоя представленных для вышеуказанных режимов. При этом изучались только петрохимические данные пород базальтового состава. Для этого был использован известный, хотя в геологических исследованиях он ранее не применялся, алгоритм проверки отсутствия или наличия пересечений выпуклых оболочек (алгоритм "полоска") [6]. В результате был получен следующий результат: выпуклые оболочки для любых пар образов X_i и X_j не пересекаются, т. е. $\rho(\text{co}(X_i), \text{co}(X_j)) > 0$. Кроме того, такой же вывод был сделан и для выпуклых оболочек "объединенных" выборок (наборов образов), которые являются образами режимов.

Таким образом, для задачи сравнения режимов мы нашли оптимальное описание структуры множества X через параметры химического состава пород. Это позволяет вводить правила принятия решений, при распознавании режима формирования исследуемого объекта докембрия A с образом Z . Следует отметить, что здесь также могут возникнуть некоторые проблемы связанные с выбором меры близости выпуклых оболочек выборок. Дело в том, что таких мер существует много и выбрать единственную, часто бывает, затруднительно. По нашему мнению имеется два варианта решения такой задачи.

Первый заключается в том, чтобы использовать несколько разумно выбранных известных мер. Для каждой из них производится оценка близости выпуклых оболочек, и решение о близости объекта A , к определенному эталону, принимается на основе максимального совпадения результатов "голосования" (относительно близости к этому эталону).

Второй вариант предполагает вычисление расстояний от каждой точки $Z_k \in Z$ до каждой из выпуклых оболочек образов множества X или "объединенных" выборок, в зависимости от поставленной задачи. В первом случае получим для каждого i множество расстояний $\{\rho(Z_k, \text{co}(X_i))\}$. Вычисляем ме-

дианы этих множеств. Затем для каждой пары ($\{\rho(Z_k, co(X_i))\}$, $\{\rho(Z_k, co(X_j))\}$) проверяем гипотезу о равенстве средних [7, 8] по одному из статистических критериев. Множество, для которого медиана окажется минимальна, и она будет статистически значимо отличаться от других медиан (при выбранном уровне значимости), является тем эталоном, который мы должны выбрать в качестве решения задачи реконструкции. В противном случае, единственного решения задача не имеет и существует несколько равнозначных решений.

Работа выполнена в Геологическом институте Кольского научного центра РАН по государственному заказу №0231-2015-0007

Библиографический список

1. Мартынов Е. В. Реконструкция обстановок формирования протолитов метаморфических комплексов докембрия на основе статистического моделирования их характеристик по петрогеохимическим данным: автореф. дисс. канд. геол.-мин. наук, СПб., 1997. 23 с.
2. Козлов Н. Е., Иванов А. А., Мартынов Е. В., Предовский А. А. Моделирование условий формирования и эволюции докембрийских комплексов на основе изучения геологии вещественного состава слагающих их породных ассоциаций // Геология и полезные ископаемые Кольского полуострова. Т. 3. Новые идеи и подходы к изучению геологических образований. – Апатиты : изд. Полиграф, 2002. С. 96–110.
3. Богатиков О. А., Цветков А. А. Магматическая эволюция островных дуг. М. : Наука, 1988. 248 с.
4. Грачев, А. Ф. Рифтовые зоны Земли. Недра. М., 1987. 285 с.
5. Кутюлин В. П. Проблемы петрохимии и петрологии базальтов. Новосибирск : Наука, 1972. 208 с.
6. Фомин В. Н. Математическая теория обучаемых опознающих систем. Л. : ЛГУ, 1976. 235 с.
7. Родионов Д. А., Коган Р. И. Голубева В. А. [и др.]. Справочник по математическим методам в геологии. М. : Недра, 1987. 335 с.
8. Мартынов Е. В. Математические методы моделирования параметров геологических процессов и явлений : учеб. пособие. Мурманск : изд. МГТУ, 2010. 136 с.
9. Pearce, J. A. Statistical analysis of major element patterns in basalts // J. Petrol. 1976. V. 17. P. 1; 15–43.

Новая парадигма геологического строения Печенгско-Варзугского пояса

Скуфьин П. К. (*г. Апатиты, Геологический институт КНЦ РАН, e-mail: skuf@geoksc.apatity.ru*)

Аннотация. Предлагается новая геологическая парадигма строения Печенгско-Варзугского зеленокаменного пояса раннего протерозоя с позиции орогенных вулканических поясов фанерозоя. Рассмотрено строение ранних вулкано-тектонические структур линейной формы свекофенния и более поздних субизометричных структур вепсия.

Abstract. A new geological paradigm is proposed for the structure of the Pechenga-Varzuga greenstone belt of the Early Proterozoic from the position of the orogenic volcanic belts of the Phanerozoic. The morphology of early volcano-tectonic structures of the linear form of Svecofennia and later subisometric structures of Vepsia is considered.

Ключевые слова: Печенгско-Варзугский пояс, вулканический пояс, ранний протерозой, свекофенний, вепсий.

Key words: Pechenga-Varzugsky belt, volcanic belt, Early Proterozoic, Svecofennian, Vepsian.

Северо-восточная часть Балтийского щита (Кольская субпровинция), является уникальным по значимости полигоном для изучения масштабных проявлений раннепротерозойских тектоно-магматических процессов, формировавших континентальную сиалическую кору этого региона. Эти процессы реализовались, прежде всего, в эволюционной истории становления раннепротерозойских поясов Кольской субпровинции, в том числе главной геоструктуры востока Балтийского щита – Печенгско-Варзугского зеленокаменного пояса (ПВП). Зеленокаменный пояс в виде прерывистой мегаструктуры протягивается в северо-западном направлении через весь Кольский полуостров и далее в Норвегию. Пояс представляет собой цепь отдельных автономных тектоно-магматических структур-фрагментов, крупнейшие из которых: Имандра-Варзугская, Печенгская, а также (в пределах Норвегии и С. Финляндии) структуры Пасвик и Полмак. Эта карельская сложнопостроенная мегаструктура, заложенная на гетерогенном архейском фундаменте и развивавшаяся на протяжении почти миллиарда лет, прошла длительную и многоэтапную историю становления. Тектоно-магматические события развивались в рамках ПВП в течение единого карельского эндогенного мегацикла (2 550–1 700 млн лет), в котором выделены четыре эндогенных цикла второго порядка продолжительностью около 200 млн лет каждый: сумийский

(2 550–2 325 млн лет), сариолийско-ятулийский (2 325–2 115 млн лет), людиковий-калевийский (2 115–1 940 млн лет) и свекофенно-вепсийский (1 940–1 700 млн лет). В Печенгской структуре карельский структурно-вещественный комплекс включает в себя вулканогенные формации трех последних циклов развития; в Имандра-Варзугской – в полном объеме представлены формации сумийского и сариолийско-ятулийского циклов, в то время как формационный ряд двух последних циклов редуцирован. В целом весь зеленокаменный пояс представляет собой систему рифтогенных вулканотектонических структур разного порядка, в которой более молодая Печенгская субизометричная вулканотектоническая палеодепрессия сложена породами с возрастом 2 325–1 700 млн лет (сариолий-ятулий-людиковий-калевий-свекофенний-вепсий). Печенгская структура в настоящее время является наиболее доступной и хорошо изученной раннедокембрийской структурой мира, благодаря, во-первых, широко известным уникальным Cu-Ni месторождениям, во-вторых, своеобразием ее геологического строения, обеспечившим ей приоритет перед остальными раннепротерозойскими структурами Кольской субпровинции. Разрез Печенгской структуры во многом определяет стратиграфию раннепротерозойского (карельского) комплекса восточной части Балтийского щита и является стратотипическим для этого региона.

Более древняя Имандра-Варзугская палеодепрессия имеет форму, близкую к линейной и сложена породами с возрастом 2 550–1 865 млн лет (сумий-сариолий-ятулий-людиковий-калевий-свекофенний). Внутренняя структура ПВП однородна на всем протяжении пояса и характеризуется наличием продольных глубинных разломов, разделяющих всю протяженную структуру ПВП на систему северных и южных структурно-формационных зон, как в Печенгской, так и в Имандра-Варзугской структурах. При этом южные зоны в обеих структурах представляют собой единый протяженный Свекофенно-вепсийский орогенный вулканический пояс, явившийся на поздних стадиях эволюции ПВП отраженной формой орогенных геодинамических событий в Свекофеннийской геосинклинали в Финляндии.

Проанализируем, насколько выделенный нами Свекофенно-вепсийский орогенный вулканический пояс (СВП), локализованный в Южной структурно-формационной зоне Печенгско-Варзугского зеленокаменного пояса, соответствует по своим морфологическим особенностям и деталям строения классическим аналогам в современных и древних вулканических поясах.

Значительные революционные процессы, затронувшие многие стороны геологии в последние десятилетия прошлого века, в нашей стране воплотились, в частности, в представлениях, связанные с разработкой новой парадигмы об орогенных вулканических поясах как закономерных мегаструктурах глобального порядка, являющихся основополагающими для формирования континентальной земной коры фанерозоя. Само понятие "вулканический пояс" впервые было введено Е. К. Устиевым в 1959 г. для обозначения протяженной, но в общем локальной орогенной периокеанической структуры на Дальнем Востоке. За считанные годы это понятие стало употребляться при описании глобальных структур континентального масштаба и было поставлено в ряд с такими геоструктурами, как геосинклинали. Системный анализ вулканических орогенных поясов планеты позволил выяснить их сложное строение, наметить иерархию вулкано-тектонических структур, которые их формируют. По краткому выражению Ю. А. Косыгина [1], "вулканический пояс в целом – система слившихся воедино вулкано-тектонических структур". Но если само понятие "вулканический пояс" вошло в геологический обиход лишь на рубеже 60-х гг. XX в., то вулкано-тектонические структуры были известны геологам на полвека раньше. Впервые описанные английскими геологами на заре прошлого века в Шотландии и Северной Ирландии как экзотические образования [2], они в результате дальнейших исследований становятся явлением, значение которого в строении верхних горизонтов земной коры, по крайней мере, равноценно значению геосинклиналей. В отношении вопроса о времени формирования вулкано-тектонических кольцевых и линейных структур большинство исследователей считает, что они формировались, начиная с раннего протерозоя, почти во все периоды геологической истории Земли [2]. Классификацию вулкано-тектонических структур в пределах орогенных вулканических поясов предложил В. Ф. Белый [3]:

– Собственно вулкано-тектонические структуры – они чаще имеют линейную или близкую к линейной форму, обусловленную наличием систем продольных разломов глубинного заложения.

– Вулканоструктуры. Преобладают изометричные разновидности. Главными элементами вулканотектоники в подобных вулканоструктурах являются радиальные, а также кольцевые и полукольцевые в плане разломы, обычно зафиксированные внедрением серий интрузивных субвулканических тел. Собственно вулкано-тектонические структуры являются образованиями более высокого порядка, развивающимися на более ранних стадиях

развития вулканических орогенных поясов. По отношению к ним изометричные вулканоструктуры первой группы являются наложенными структурами.

Свекофенно-вепсийский вулканический пояс в пределах и Южнопеченгской, и Южно-Имандра-Варзугской зон явился отраженной формой орогенных геодинамических событий в Свекофеннийской геосинклинали в Финляндии. Вулкано-тектонические структуры СВП представлены двумя разновозрастными группами, из которых в Южнопеченгской зоне более древняя представлена линейными структурами раннего свекофенния, сложенными вулканитами брагинской свиты. Более молодая группа вулкано-тектонических структур вепсия представлена целым рядом субизометричных вулканических центров (вулкано-тектонических структур), локализация которых контролировалась рамками Пороярвинского вулканического пояса второго порядка, как одной из поздних ветвей эволюции СВП (рис. 1). Эти вулканочетры сложены бимодальной ассоциацией вулканитов менельской (пикритовый вулканизм) и каплинской (вулканизм среднекислого состава) свит.

В Имандра-Варзугской зоне породы вепсия редуцированы, а вулканиты ильмозерской свиты раннего свекофенния распространены лишь в её западной и центральной частях, где в рамках линейной вулкано-тектонической структуры формируют периферию Томингской брахисинклинали. Более молодая группа субизометричных вулкано-тектонических структур позднего свекофенния представлена прежде всего Панареченской кальдероподобной структурой, несогласной по отношению к базальтоидам ильмозерской свиты (рис. 2).

На орогенной стадии эволюции в Имандра-Варзугской зоне эта структура была опущена на значительную глубину по системе глубинных разломов и в тектонически затененном пространстве почти не подверглась заметному воздействию последующих тектоно-магматических процессов. Почти не затронутая изменениями, палеокальдера раннего докембрия была перенесена из глубокой древности в наше время. Приведенная в монографии Л. Н. Шарпенюк [4] схематическая карта кальдероподобной неогеновой структуры Эронго из Индонезии демонстрирует близкородственные черты почти абсолютного сходства с панареченским аналогом (рис. 3). По своему строению, морфологии и составу пород структура Эронго и ПВТС – близнецы-сестры.

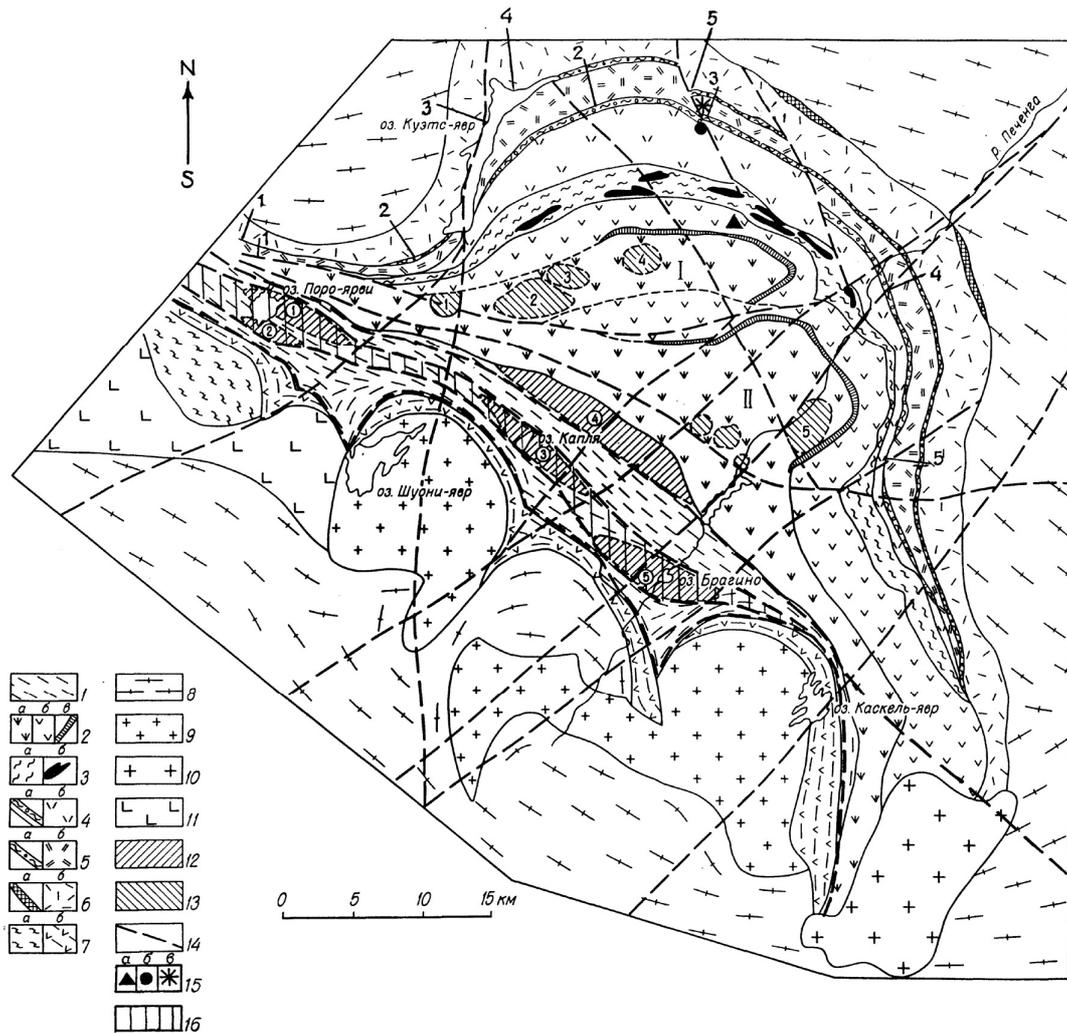


Рисунок 1 – Схематическая геологическая карта Северопеченгской и Южнопеченгской зон Печенгской структуры.

Условные обозначения: 1 – вулканогенно-осадочные породы южнопеченгского подкомплекса (1 905–1 700 млн лет); 2–6: вулканогенно-осадочные породы северопеченгского подкомплекса (2550–1905 млн лет): 2 – породы IV BC (вулканогенной свиты) (1980 ± 34 млн лет): а – базальты; б – шаровые базальты; в – риолиты; 3 – IV ОС (осадочная свита): а – метаосадки; б – габбро-верлиты; 4 – породы III ОС и III BC (2114 ± 52 млн лет): а – осадки, б – вулканиты; 5 – породы II ОС и II BC (2214 ± 54 млн лет): а – осадки, б – вулканиты; 6 – породы I ОС и I BC (2324 ± 28 млн лет): а – осадки, б – вулканиты; 7 – породы неясного стратиграфического положения: а – гнейсо-сланцы, б – амфиболиты; 8 – гнейсо-гранитный архейский фундамент; 9 – плагиограниты (1940 млн лет); 10 – микроклиновые граниты (1 840 млн. лет); 11 – габбро; 12 – локальные вулканические центры в Южнопеченгской структуре: 1 – Северопороярвинский, 2 – Южнопороярвинский, 3 – Каплинский, 4 – Порьиташский, 5 – Брагинский; 13 – локальные вулканические центры в Северопеченгской структуре; 14 – дизъюнктивные нарушения; 15 – крупнейшие структурные скважины (звёздочка – СГ-3); 15 – Пороярвинский вулканический пояс, контролировавший локализацию автономных вулкано-тектонических структур в Южнопеченгской зоне

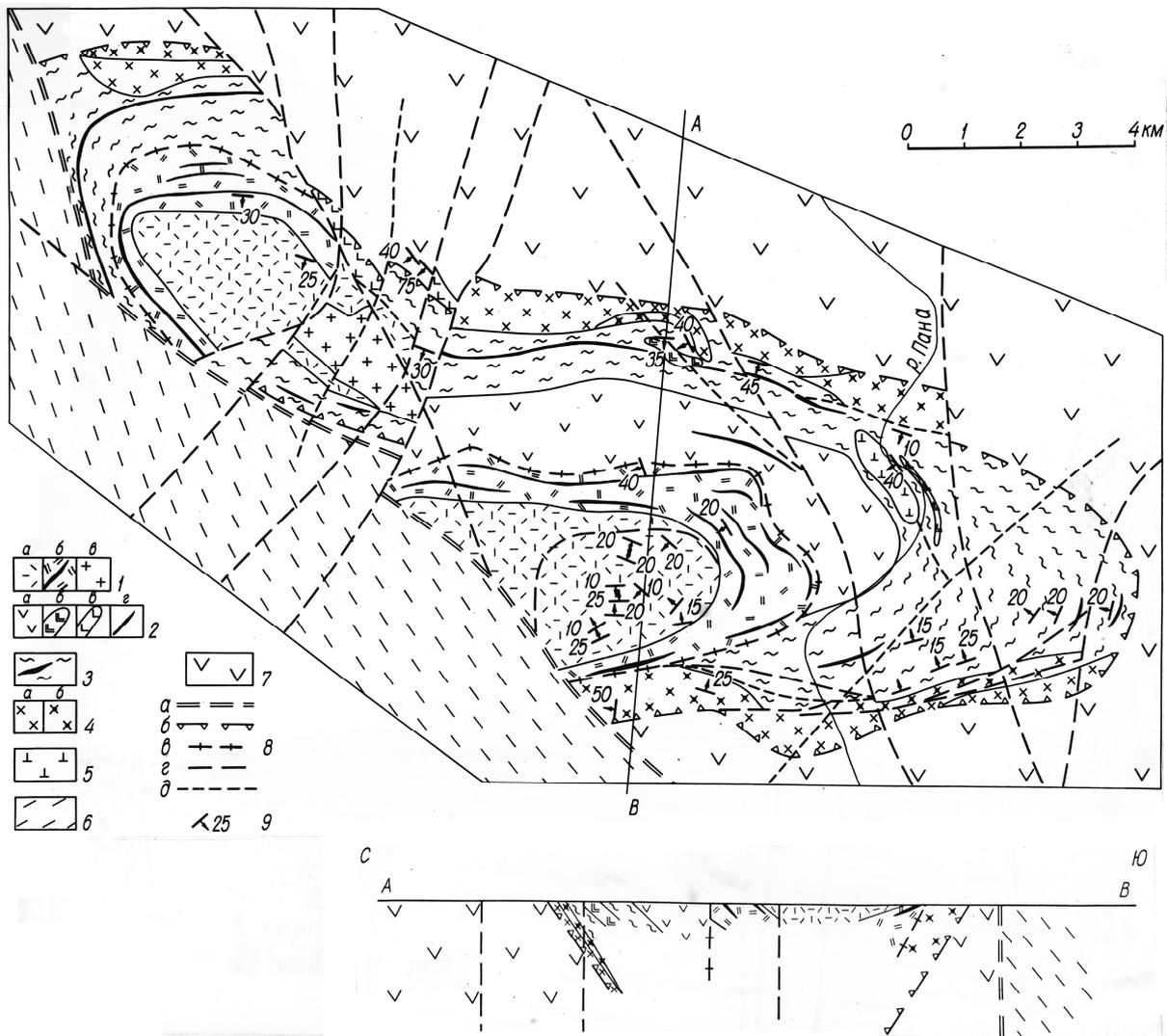


Рисунок 2 – Схематическая геологическая карта Панареченской структуры.
 Условные обозначения: 1 – породы самингской свиты – фельзические лавы с углеродистыми сланцами; 2,3 – породы панареченской свиты; 4 – эпизональные монцититы-трахиандезиты зоны кольцевого разлома и граниты в зоне поперечного поднятия; 5 – метаперидотиты; 6, 7 – вмещающие породы раннего свекофенния, 8, 9 – структурные элементы

Подводя итог рассмотрению особенностей эволюции Свекофенно-вепсийского вулканического пояса в отношении его строения и состава, можно констатировать, что СВП во многом аналогичен орогенным вулканическим поясам фанерозоя и даже современным их представителям, для которых характерны ранние собственно вулканотектонические структуры, имеющие линейную форму, и более поздние субизометричные кальдероподобные образования [1]. Таким образом, геодинамические события свекофенно-вепсийского цикла (1940–1700 млн лет) в Южнопеченгской и Южно-Имандра-Варзугской зонах можно объяснить с позиции новой парадигмы орогенных вулканических поясов.

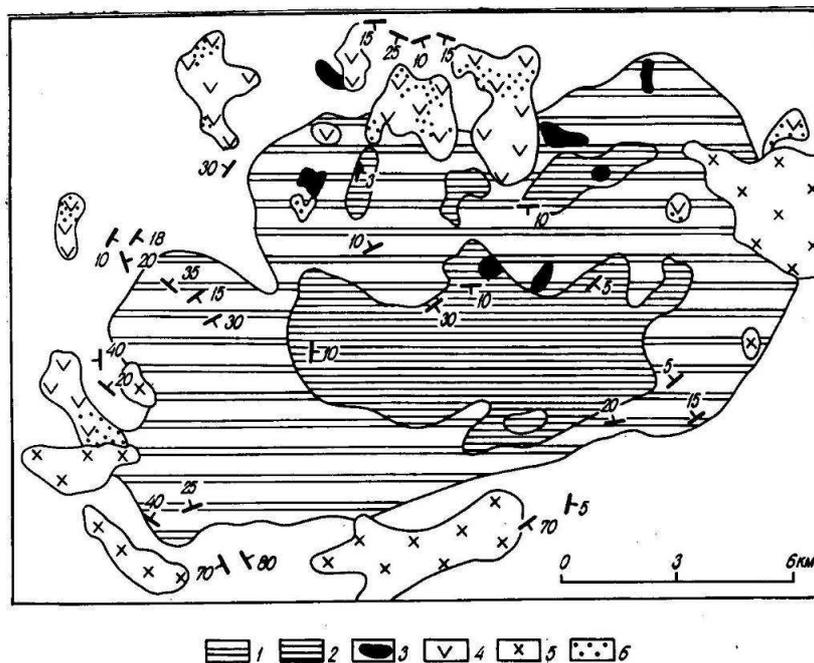


Рисунок 3 – Схематическая геологическая карта кальдероподобной вулканотектонической структуры Эронго [4]. Условные обозначения: 1 – туфы дацитового состава, 2 – дациты, 3 – породы жерловой фации, 4 – субвулканические порфириды, 5 –гранодиориты и граниты, 6 – вторичные кварциты

Исследования проведены при поддержке гранта № 16-05-00026.

Библиографический список

1. Косыгин Ю. А. Тектоника. М. : Недра, 1969. 470 с.
2. Лучицкий В. И. Основы палеовулканологии. Т. 1, 2. М. : Наука, 1971. 841 с.
3. Белый В. Ф. Стратиграфия и структуры Охотско-Чукотского вулканического пояса. М. : Наука, 1977. 171 с.
4. Шарпенко Л. Н. Магматогенные кольцевые структуры. Л. : Недра, 1979. – 230 с.

Особенности геологии и геохимии вулканогенных структур Южнопеченгской зоны

Скуфьин П. К., Елизаров Д. В., Серов П. А., Баянова Т. Б. (*г. Апатиты, Геологический институт КНЦ РАН, e-mail: skuf@geoksc.apatity.ru*)

Аннотация. Проведено изучение состава и изотопных характеристик вулканогенных пород свекофенния и вепсия в Южнопеченгской структурно-формационной зоне. Изотопный U-Pb возраст по трем типам цирконов из андезидацитов Порьиташского субвулканического комплекса позднего свекофенния равен 1904 ± 7 млн. лет.

Abstract. The composition and isotopic characteristics of volcanogenic rocks of Svecofennia and vepsia in the South-Pechenga structural-formation zone have been studied. The isotope U-Pb age for the three types of zircons from the andesidicites of the Porytash subvolcanic complex of Late-Svecofennia is equal to 1904 ± 7 million years.

Ключевые слова: Южнопеченгская зона, Порьиташский комплекс, геология, геохимия, свекофенний, вепсий, вулканисты, U-Pb возраст.

Key words: South Pechenga zone, Porytash complex, geology, geochemistry, Svecofennia, Vepsia, volcanics, U-Pb age.

Структурно-вещественные комплексы Южнопеченгской зоны ПВП представлены вулканогенно-осадочными породами свекофенния, а также породами раннего и позднего вепсия.

Эти свекофенно-вепсийские СВК формируют Свекофенно-вепсийский орогенный вулканический пояс (СВП), срезающий более древние раннекаральские северопеченгские структуры.

В эволюционной истории СВП установлена определенная этапность, проявлявшаяся в последовательной смене формирующих пояс линейных и субизометричных вулканогенно-тектонических структур. При этом в пределах СВП выделяются более ранние линейные структуры свекофенния, пространственное сонахождение и форма которых определялась продольными разломами глубинного заложения.

Эти линейные структуры сложены породами брагинской свиты раннего свекофенния и среднекислыми породами Порьиташского субвулканического комплекса позднего свекофенния. По отношению к ним более молодые субизометричные вулканические центры (вулканогенно-тектонические структуры) вепсия являются наложенными. Именно таковы в СВП вулканоцентры вепсия в рамках Пороярвинского вулканического пояса второго порядка, который контролировал формирование ряда крупных автономных вулканоцентров,

сформированных вулканитами раннего вепися (рис. 1). Вулканиты этих структур относятся или к андезитовой (Северопороярвинский, Южнопороярвинский, Каплинский вулканодомы) или к пикритовой (Пасвикский и Брагинский вулканодомы) ветвям вулканизма каплинской и менельской свит.

Начало вепися зафиксировано возрастом заложения Пороярвинского пояса (1865–1855 млн лет), а его окончание – возрастом заложения еще более молодого "межгорного" прогиба кассейокского времени, заполненного молассоидными породами кассейокской свиты позднего вепися (рис. 1). Группа более ранних линейных структур свекофенния интенсивно тектонизирована, и структурный план залегания вулканитов брагинской свиты в значительной степени нарушен в результате формирования более молодого Пороярвинского вулканического пояса, контролировавшего расположение вулканоструктур бимодального вулканизма вепися.

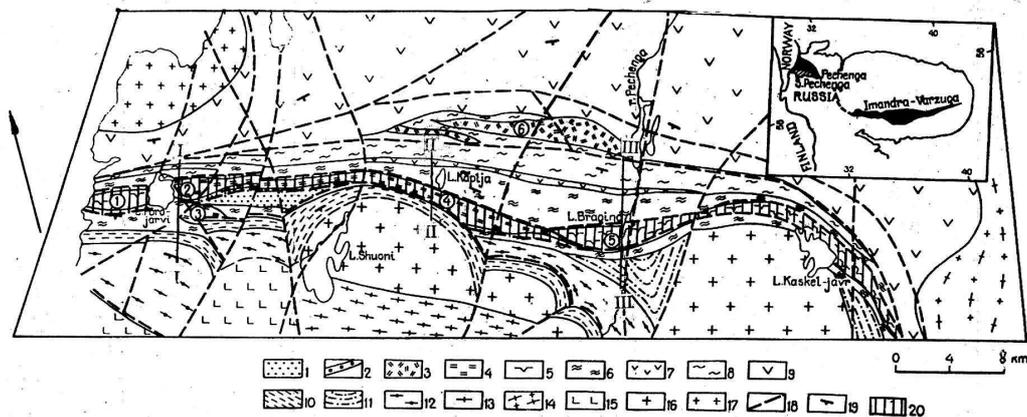


Рисунок 1 – Схематическая геологическая карта Южнопеченгской зоны, сформированной породами СВП (1 940–1 700 млн лет): 1, 2, 4, 5 – породы вепися: 1-2 – туфы и туффиты кассейокской свиты; 4 – среднекислые вулканиты каплинской свиты; 5 – пикритовые вулканиты менельской свиты; 6-7 – породы свекофенния брагинской свиты; 8–19 – вмещающие породы и структурные элементы; 20 – Пороярвинский орогенный вулканический пояс второго порядка, контролировавший локализацию автономных вулканоструктур вепися:

1 – Пасвикская; 2, 3 – Северо- и Южнопороярвинская, 4 – Каплинская, 5 – Брагинская

Вулканогенные породы брагинской свиты широкой полосой тянутся с Ю-В на С-З южнее Порыташского разлома, трассируя северный фланг Южнопеченгской структурно-формационной зоны. В разрезе свиты туфогенно-осадочным породам принадлежит значительная роль. Они представлены преимущественно туффитами, с существенной примесью пирокластиков андезитового, базальтового и пикробазальтового состава. Приподошвенная часть разреза мощностью до 200–250 м сложена вулканитами базальтового

и пикробазальтового составов, которые под названием ансемйокской толщи включены в состав разреза брагинской свиты. Базальты свиты отличаются пониженной кремнекислотностью и варьирующими содержаниями титана и суммарного железа. В балансе щелочей натрия резко преобладает над калием. В целом вулканы брагинской свиты формируют укороченную базальт-андезитовую формацию.

Среднекислые породы Порьиташского субвулканического комплекса позднего свекофенния формируют серию субсогласных тел мощностью до 1.5 км, приуроченных к полосе влияния Порьиташского разлома. Интрузивные тела сложены андезидацитами и дацитами. К приподошвенной части крупных интрузий приурочена серия субизометрических тел эруптивных брекчий риолитового состава. Вулканы Порьиташского комплекса формируют укороченную андезит-риолитовую формацию. U-Pb возраст порьиташских андезидацитов по цирконам – 1904 ± 7 млн. лет).

В табл. 1 приведены средние составы среднекислых и кислых порьиташских пород, а в табл. 2 приведены изотопные Sm-Nd данные для пород ПорВЦ, которые имеют характеристики коровой контаминации и характеризуются отрицательными величинами ϵ_{Nd} от -3.32 до -4.55 .

Таблица 1 – Средние составы вулканитов ПорВЦ свекофенния и каплинской свиты вепся

Компоненты	1	2	3	4	5	6
	n = 30	n = 7	n = 5	n = 19	n = 5	n = 6
SiO ₂	63.11	66.70	72.86	58.57	66.14	73.82
TiO ₂	0.92	0.83	0.42	0.76	0.60	0.54
Al ₂ O ₃	13.92	12.57	11.41	14.53	12.59	12.27
Fe ₂ O ₃	2.40	2.26	0.67	1.65	0.72	0.23
FeO	4.47	3.94	2.67	4.19	4.21	2.15
MnO	0.08	0.07	0.04	0.09	0.07	0.05
MgO	2.49	2.15	0.65	3.81	1.69	1.16
CaO	3.47	1.97	2.73	4.89	3.69	1.45
Na ₂ O	2.70	3.58	1.17	3.82	4.50	3.77
K ₂ O	2.90	2.44	5.78	3.24	2.09	1.97
P ₂ O ₅	0.20	0.20	0.12	0.26	0.20	0.17
CO ₂	0.06	0.14	0.06	1.51	0.10	0.41
S	0.08	0.06	0.29	0.03	0.01	0.03
Σ	96.80	96.91	98.87	97.35	96.61	98.02

Примечание. Вулканы Порьиташского комплекса (1–3): 1 – андезидацит; 2 – дацит; 3 – риолит субщелочной. Вулканы каплинской свиты (4–6): 4 – андезит, 5 – дацит, 6 – риолит.

Таблица 2 – Sm-Nd данные для пород свекофенния ПорВЦ и вулканитов каплинской свиты вепсия

Проба	Порода	Свита	Содерж., ppm		Изотопные отношения		T _{DM}	Возраст	ε _{Nd} (T)
			Sm	Nd	¹⁴⁷ Sm/ ¹⁴⁴ Nd	¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd			
88-8	Андезит	Каплинская	9.17	52.0	0.1066	0.511243 ± 9	2 703	1904	-5.21
88-126	Андезит		8.11	46.3	0.1058	0.511217 ± 4	2 719	1904	-5.53
88-130	Андезит		8.38	47.3	0.1072	0.511264 ± 5	2 688	1904	-4.95
СЮ-2	Андези- базальт		7.13	39.2	0.1101	0.511393 ± 15	2 575	1904	-3.13
14184	Дациит	Порыташ	2.22	10.14	0.1323	0.511542 ± 7	2 995	1904	-5.66
14187	Риолит		4.94	24.3	0.1231	0.511481 ± 8	2 795	1904	-4.59

Изотопный U-Pb возраст по трем типам цирконов равен 1904 ± 7 млн. лет, координаты двух точек имеют близконкордантное положение, полученный новый возраст вулканитов интерпретируется временем формирования (рис. 2).

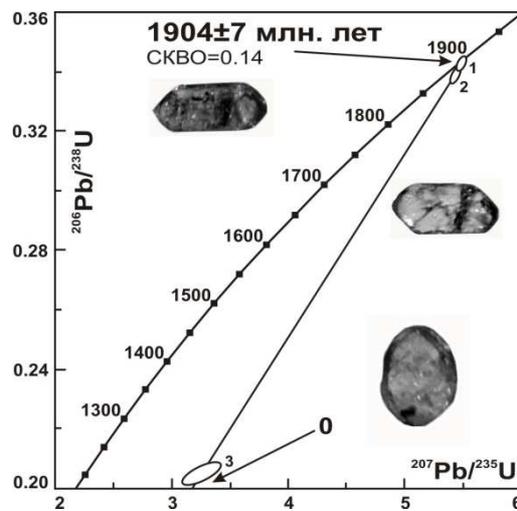


Рисунок 2 – Изотопная U-Pb диаграмма с конкордией для цирконов ПорВЦ

Возраст пород сопоставим с возрастом плагиогранитов Шуонияврского массива и кварцевых диоритов Каскельярского массива в южном обрамлении Печенгской структуры – $1\,939 \pm 7$ млн. лет и $1\,940 \pm 17$ млн лет. [1], а также с трахидацитами Панареченской структуры – $1\,907 \pm 18$ млн лет [2].

Вулканиты каплинской свиты из разных вулканочентров, характеризуясь родственными особенностями составов, в то же время обладают специфическими для каждого вулканочентра химическими особенностями. Так, лавовые покровы СПВЦ сложены щелочными породами – трахибазальтами,

трахиандезитами и трахидацитами. Базитовые и среднекислые вулканиты ЮПВЦ представлены магнезиальными и магнезиально-железистыми разновидностями. В преимущественно среднекислом разрезе вулканитов КВЦ широко представлены экструзивные генетические типы среднекислых лав полосчатой текстуры. В целом вулканиты свиты формируют протяженную известково-щелочную базальт-андезит-дацит-риолитовую формацию.

В табл. 1 приведены средние составы среднекислых и кислых пород каплинской свиты, а в табл. 2 – изотопные Sm-Nd данные для этих пород, которые имеют характеристики коровой контаминации и характеризуются отрицательными величинами ϵ_{Nd} от -3.13 до -5.21 .

Исследования проведены при поддержке гранта № 16-05-00026

Библиографический список

1. Скуфьин П. К., Баянова Т. Б., Митрофанов Ф. П., Апанасевич Е. А., Левкович Н. В. Абсолютный возраст гранитоидов Шуонияврского массива из южного обрамления Печенгской структуры (Кольский полуостров) // ДАН. 2000. Т. 370, № 2. С. 227–230.
2. Скуфьин П. К., Баянова Т. Б., Митрофанов Ф. П. Изотопный возраст субвулканических гранитоидных пород раннепротерозойской Панареченской вулcano-тектонической структуры (Кольский полуостров) // ДАН. 2006. Т. 408, № 6. С. 805–809.

**ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ
РАЗВИТИЯ ЕСТЕСТВЕННОНАУЧНОГО
И ТЕХНИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ
В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ**

Обучение студентов электротехнического и электроэнергетического направления в европейских вузах с высоким мировым рейтингом (по методологии QS)

Власова С. В. (г. Мурманск, ФГБОУ ВО "Мурманский государственный технический университет", кафедра общей и прикладной физики)

Аннотация. В работе сравниваются образовательные программы дисциплины "Физика", используемые для подготовки бакалавров направления "Электроэнергетика и Электротехника" в Мурманском государственном техническом университете (МГТУ, Россия) и университет Саутгемптон (Англия). Показано, что учебные планы МГТУ нуждаются в модернизации для того, чтобы обеспечить адекватный уровень подготовки будущих бакалавров.

Abstract. The work compares the educational programs of the discipline "Physics" used for the preparation of bachelors of the direction "Electrical Engineering" at the Murmansk State Technical University (MSTU, Russia) and the University of Southampton (England). It is shown that MSTU curricula require modernization in order to provide an adequate level of training for future bachelors.

Ключевые слова: обучение бакалавров направления "Электроэнергетика и Электротехника", курс физики, модернизация учебных планов.

Key words: the training of bachelors in the field of "Electrical Engineering", the course of physics, the modernization of curriculum.

В мировом рейтинге вузов по предмету электроэнергетическое направление подготовки попадает в группу "Engineering-Electrical & Electronic" [1]. "Electrical Engineering" ("EE") в словарях переводится как "Электротехника" (ЭТ). Под термином "EE" в европейском образовательном пространстве подразумевают те направления, которые в России названы "Электротехника и Электроэнергетика" (ЭЭ) [2].

Рейтинг университетов по версии QS (Quacquarelli Symonds) составляется на основании ежегодной оценки около 3000 вузов. В рейтинг лучших университетов мира QS попадают только университеты, которые предлагают все уровни образования: бакалавриат, магистратуру и докторантуру (аспирантуру в российской практике). В вузе должны быть представлены не менее двух из пяти областей знаний: гуманитарные науки и искусства; инженерные и технические науки; естественные науки; медицина и науки о жизни; социальные науки и менеджмент [3].

Оценка идёт по 6 критериям. Академическая репутация приносит 40 %. Соотношение преподавательского состава к числу студентов составляет 20 % рейтинга. Индекс цитируемости (отношение количества опубликованных научных исследований к числу преподавателей и исследователей, для которых вуз является основным местом работы на протяжении как минимум одного семестра) приносит 20 % рейтинга. Репутация среди работодателей приносит 10 % рейтинга. Доля иностранных студентов даёт 5 % рейтинга. Она отражает привлекательность учебного заведения на международном уровне. Доля иностранных преподавателей приносит 5 % [3].

В работе анализируется подготовка будущих инженеров в области электроэнергетики ("ЕЕ") в одном из вузов Европы, имеющим высокий международный рейтинг (по версии QS) с тем, чтобы выявить наиболее важные моменты процесса обучения, которые могут быть адаптированы в российских вузах для студентов направления "ЭЭ". В качестве объекта анализа был выбран Университет Саутгемптон (Англия)¹, сокращённо СГУ. Он занимает позицию (51–100) QS всемирного рейтинга университетов по предмету 2016 г. среди вузов, которые готовят специалистов по направлению "ЕЕ"².

Прежде чем перейти к рассмотрению программ и курсов обучения в СГУ, обратим внимание на общие критерии оценивания достижений учащихся. Первым шагом в процессе будущего оценивания является чёткая формулировка результатов обучения. Сами же результаты обучения "распадаются" на 4 уровня: "знания и понимание" (уровень А), "специфические интеллектуальные качества" (уровень В), "переносные и универсальные умения" (уровень С), "результаты практические" (уровень D)³. Эти "уровни" применяются как к программе в целом, так и к каждому учебному курсу. Поскольку объём публикации не позволяет рассмотреть все уровни, для примера рассмотрим уровень А, согласно которому выпускник СГУ должен: продемонстрировать знание и понимание фундаментальных ключевых математических и естественно-научных законов и проявлять умения, необходимые инженеру, работающему в области ЭТ⁴ и ЭМ⁵ (А1); продемонстрировать

¹ University of Southampton.

² Отметим, что Московский государственный технический университет им. Баумана занимает в этом же рейтинге место 201–250. Список вузов, ведущих специализированную подготовку инженеров электроэнергетического профиля в России, ограничивается 15 вузами (сюда входит и Мурманский государственный технический университет) [4].

³ "Knowledge and Understanding", "Subject Specific Intellectual", "Transferable and Generic", "Subject Specific Practical".

⁴ Электротехника

знание и понимание фундаментальных принципов и концепций, применимых в области ЭТ и ЭМ (A2); демонстрировать специальные технические знания в выбранной области инженерного дела (A3); демонстрировать практические умения по выполнению расчётов и программированию применительно к текущей инженерной практике (A4); применить знания и понимание, изложенные выше, к разработке и оценке возможных решений для инженерных задач (A5); демонстрировать компетентность в главных направлениях инженерных исследований в области ЭТ и ЭМ, а также возможного их использования для расширения текущей практики (A6); демонстрировать компетентность в финансовых, экономических, социальных и экологических проблемах, имеющих значение для инженерной практики (A7); понимать, как применить академические знания и умения для решения проблем промышленности и понимать значимость перечисленных выше результатов обучения для успешной карьеры в промышленности (A8 и A9 для варианта с промышленным обучением). Все эти пункты подвергнутся дальнейшей декомпозиции при рассмотрении конкретных обучающих курсов. Более подробно уровни обучения рассмотрены в работе [5].

На сайте СГУ представлены образовательные программы подготовки бакалавров и магистров, указаны формы и методы обучения и оценивания результатов (по всем изучаемым курсам), описаны структура программы и её специфические черты с указанием характеристик изучаемых курсов. В СГУ предлагается несколько вариантов обучения: 3 года с получением степени бакалавра и 4 года – с получением степени магистра. Кроме того, предлагается вариант получения степени бакалавра с перерывом на 1 год работы в промышленности. Для обучения талантливых студентов из других стран, которые не имеют соответствующей подготовки, предлагается "интернациональный базовый год" [6].

Рассмотрим программы обучения бакалавра (3 года) по направлению "ЕЕ". Учебные курсы, предлагаемые на 1-ом году обучения, представлены в табл. 1. Первый столбец – название курса, второй – число кредитов по европейской системе ECTS⁶, третий – семестр, в котором изучается курс. Далее указано число лекций, лабораторных работ и общая сумма часов, также даны некоторые разъяснения, касающиеся особенностей преподавания в СГУ.

⁵ Электромеханика

⁶ European Credit Transfer and Accumulation System (ECTS) – Европейская система перевода и накопления кредитов.

Таблица 1 – Курсы, изучаемые в СГУ на первом году обучения (бакалавр "ЕЕ", 3 года)

№	Название курса	Кредиты	Семестры	Лекции, час	Тьютерство (tu), демонстрация примеров (de), час	Лаборатория, час	Всего, час
Основные курсы							
1	Electronic Circuits (электронные цепи)	7.5	1	36	10 (tu)	23,3	69,3
2	Programming (программирование)	7.5	1	24	12 (de)	40,5	76,5
3	Digital Systems and Microprocessors (цифровые системы и микропроцессоры)	7.5	1	36	12 (tu)	27,8	75,8
4	Mechanics (механика)	7.5	2	36	12 (de)	6	54
5	Solid State Devices (твёрдотельные приборы)	7.5	2	36	12 (de)	15,8	63,8
6	Electrical Materials and Fields (электрические материалы и поля)	7.5	1,2	60	–	15,8	75,8
7	Electronic Systems (электронные системы)	7.5	2	36	12(tu)	18,8	66,8
Обязательные курсы							
1	Electronic Labs 1 ⁷ (лаборатория по электронике 1)	0	1,2	–	Часы распределены по другим курсам		
2	Mathematics for EE (математика для инженеров ЭиЭ, часть 1)	7,5	1,2	0	Семинары – дважды в неделю		

На первом и втором году обучения изучаются базовые и основные курсы, на третьем году к ним добавляются курсы по выбору. На втором году обучения предлагаются следующие курсы: электрическая и электромеханическая лаборатория 2, материалы, силовая электроника и приборы, дизайн электротехники, прикладной электромагнетизм, электрические машины, управление и связь, математика для инженеров-электротехников (часть 2). На третьем году обучения студент выполняет индивидуальный проект, изучает две обязательные дисциплины, и три дисциплины по выбору (из 12 предлагаемых, в том числе, и три углублённых математических курса). Предлагаются, к примеру, такие предметы, как: робототехнические системы, введение в бионанотехнологии, силовые системы электротехники и т. п. курсы.

⁷ Этот модуль является лабораторной программой для всех первокурсников, обучающихся по программе "ЕЕ". Он направлен на то, чтобы дать студентам возможность применить теорию, которую они изучают в других модулях.

Очевидно, что уже с первого курса студент СГУ приступает к изучению будущей профессии. Он не теряет массу времени на повторение и углубление школьных предметов. И даже изучение курса общей физики идёт путём, не характерным для российских вузов. В СГУ не изучается последовательный курс физики, как это происходит в российской высшей школе, а делается акцент на разделы физики, которые близки выбранной специальности (при этом, изучаются все разделы общего курса физики). Так, например, физика полупроводников изучается в рамках курса "Твёрдотельные приборы". Раздел физики, который традиционно в российской высшей школе называется "Колебания и волны, электромагнетизм" в СГУ изучается в рамках курса "Электрические материалы и поля". Исключение составляет раздел курса общей физики "Механика". Он изучается "сам по себе" без привязки к специализированному курсу.

Сравним подготовку бакалавров направления "ЭЭ" в российских вузах (на примере Мурманского государственного технического университета МГТУ) и бакалавров направления "ЕЕ" в СГУ.

1. В СГУ в учебных планах отсутствуют гуманитарные курсы (типа философии, социологии и т. п.), курсы общеобразовательной направленности (типа безопасности жизнедеятельности) и физическая культура, как обязательные предметы. В МГТУ, напротив, студенты изучают большой список предметов гуманитарного цикла (история, культурология, русский язык и культура речи, экономика, философия, социология, политология, психология). Кроме того, в учебные планы введены некоторые общеобразовательные предметы, которые по содержанию "перекрывают" друг друга.⁸ Все эти предметы (без учёта физкультуры) используют более 300 ч контактного времени обучения.

2. Изучение всех курсов, обеспечивающих подготовку бакалавров по физике, в СГУ опирается на значительный объём лекций, в то время как в МГТУ число лекционных часов, посвящённых изучению физики, значительно меньше. Например, разделу "Механика" посвящено 36 ч лекций в СГУ и 18 ч лекций в МГТУ. Эти примеры можно было бы продолжить.

3. В СГУ выполнение лабораторных работ по различным курсам физического содержания осуществляется на базе самостоятельной работы сту-

⁸ Например, курс "Экологическая безопасность" и "Безопасность жизнедеятельности", или "Экономика" и "Экономические аспекты управления и планирования в электроэнергетике".

дентов в лаборатории (где они могут получить тьютерскую поддержку). Практические занятия по математике *с преподавателем* также отсутствуют в расписании. Курс математики осваивается студентом самостоятельно посредством работы над каждой темой по специально разработанному пособию и сдаче тестов (на компьютере) в определённые сроки. В МГТУ, напротив, все умения, необходимые для работы в лаборатории, осваиваются студентами под жёстким контролем преподавателя (допуск к работе, проверка отчёта, защита лабораторной работы). Практические занятия по физике и математике в МГТУ также осуществляются преподавателем.

4. Для принятия экзамена по курсу в СГУ, как правило, выделяется 2 ч на студента. В рекомендациях по оцениванию достижений студента (50–75) % экзаменационной оценки (в зависимости от курса) определяет именно уровень достижений, который студент продемонстрировал на экзамене. В МГТУ на экзамен выделяется 0,5 ч на студента. Многие курсы заканчиваются зачётом (0,3 ч на студента) или дифференцированным зачётом (0,35 ч на студента). Например, курс общей физики состоит из трёх разделов, каждый из которых изучается учебный семестр, и лишь один из трёх разделов завершается экзаменом, а два остальных – зачётом.

По нашему мнению, система подготовки бакалавров по дисциплине "Физика" в МГТУ нуждается в модернизации по нескольким параметрам⁹:

- увеличение числа лекционных занятий;
- увеличение времени, отводимого на принятие экзамена у студента;
- увеличение числа экзаменов (взамен зачётов);
- расширение ответственности студентов за своё обучение и увеличение объёма работы, выполняемой ими самостоятельно по специально разработанным материалам с регулярным контролем промежуточных результатов путём тестирования.

Очевидно, что указанная модернизация требует дополнительного ресурса учебного времени, выделяемого на изучение дисциплины "Физика". С нашей точки зрения, это можно осуществить путём обеспечения в учебных планах подготовки бакалавров более продуманной системы гуманитарных и общеобразовательных курсов, реализовав направленность на получение базовой подготовки по выбранной профессии.

⁹ Если не касаться вопросов оснащения учебных лабораторий современным оборудованием.

Библиографический список

1. URL: <http://www.topuniversities.com/subject-rankings/2016>
2. Власова, С. В. Реформирование инженерного образование в России и мире // Наука и образование в Арктическом регионе – 2016 [Электрон. ресурс] : мат. Междунар. науч.-практ. конф., Мурманск, 2016 г. – С. 55.
3. URL: <http://ria.ru/spravka/20130910/962029482.html>
4. URL: <http://www.myenergy.ru/education/education/institute/>
5. Власова С. В. Развитие компетентностного подхода для обеспечения качества образования в области техники и технологий // Наука – производству : мат. междунар. науч.-практ. конф., Мурманск, 2016 г. С. 225.
6. URL: <http://www.southampton.ac.uk/courses/foundation-years.page>

Использование научно-популярной литературы в курсе физики в техническом университете

Никонов О. А.¹, Шолохов В. С.², Ботова М. Г.¹

(г. Мурманск, ФГБОУ ВО "Мурманский государственный технический университет", кафедра общей и прикладной физики)

(г. Мурманск, ФГБОУ ВО "Мурманский государственный арктический университет", кафедра математики, физики и информационных технологий, экономики и информационных технологий)

Аннотация. Работа посвящена проблеме повышения уровня лекционного преподавания физики в техническом университете. Физика – наука мировоззренческая, в процессе её изложения необходимо уделять серьёзное внимание её философским проблемам. Лекционный курс должен популяризировать достижения современной науки и прививать интерес к ней. В статье рассматриваются некоторые трудности популяризации науки в настоящее время.

Abstract. The work deals with the problem of increasing the level of lecture in teaching physics in technical University. Physics – science is ideological, in the process of discussion is necessary to give serious consideration to its philosophical problems. The lecture course is to popularize the achievements of modern science and to inculcate interest in her. The article discusses some of the difficulties of popularization of science at the present time.

Ключевые слова: популяризация науки, эффект Сагана, антинаучные и псевдонаучные взгляды, диалог между учёными и обществом.

Key words: popularization of science, the Sagan – effect, anti-scientific and pseudo-scientific views, the dialogue between scientists and society.

Величайший из всех миров,
какие человек создал силою своего духа,
а не получил в дар от природы, – это мир книг.
Герман Гессе. Магия книги [1]

Стремительное развитие науки и техники требует дальнейшего совершенствования преподавания физики в высшей школе. С целью поднятия уровня образования выпускников высшей школы, необходимо постоянно совершенствовать новые образовательные технологии, сочетающие традиционные формы обучения с современными информационно-коммуникационными технологиями, используя внутреннюю мотивацию студентов к мультиме-

данным и цифровым технологиям, говорится в решении XIII международной учебно-методической конференции [2].

Перед преподавателями высшей школы стоит проблема повышения уровня лекционного преподавания физики в техническом университете. В этой связи, необходимо решать следующие задачи в курсе физики:

1. Изучение законов окружающего мира в их взаимосвязи.
2. Овладение фундаментальными принципами и методами решения научно-технических задач.
3. Формирование навыков по применению положений фундаментальной физики к грамотному научному анализу ситуаций, с которыми инженеру приходится сталкиваться при создании новой техники и новых технологий.
4. Освоение основных физических теорий, позволяющих описать явления в природе, и пределов применимости этих теорий для решения современных и перспективных технологических задач.
5. Формирование у студентов основ естественно-научной картины мира.
6. Ознакомление студентов с историей и логикой развития физики и основных её открытий.

Учебники даже самых последних лет издания не могут отразить результаты быстрого развития физической науки на доступном для студента уровне. Возникает необходимость использования материалов научно-популярных изданий в лекционном курсе физики. Непосредственное заимствование материала, соответствующего программе, из публикаций невозможно по причинам дидактического порядка. Как известно, язык и стиль изложения научной и учебной литературы значительно отличаются и это, в свою очередь, ставит задачу популярного изложения научной информации.

Сохранение высокого уровня фундаментальной подготовки, в том числе по физике, как основы общенаучных, профессиональных, социально-личностных и общекультурных компетенций, способности успешно работать в новых, быстро развивающихся областях науки и техники, самостоятельно непрерывно приобретать новые знания, умения и навыка в этих областях.

Преподавание естественнонаучных дисциплин – одна из форм популяризации достижений современной науки.

Популяризация научных знаний весьма непростая задача, она связана с целым рядом трудностей. Об этом пишет Чарльз Сейфи: "Журналистский корпус был подготовлен к манипулированию посредством соглашения, заключенного ещё десятки лет назад, – эмбарго. Эмбарго – это закулисная сделка

между журналистами и их источниками информации – людьми, о которых они пишут. Источники предоставляют журналисту доступ к информации при условии, что тот не опубликует ее до заранее оговоренного срока" [3].

В статье [3] автор отмечает, что в итоге сложилась система, в которой научные учреждения во все большей степени контролируют СМИ. "Они приобрели власть над журналистами, а те так и не сумели отнять её" [3].

При этом было поставлено еще одно условие: репортерам прямо запрещалось искать какие-либо комментарии на стороне. Журналисты должны были отказаться от любых попыток делать вид, что они могут подготовить независимые репортажи по теме до исключения срока эмбарго [3].

В своей статье Сейфе приходит к выводу, что без возможности общения с независимыми источниками "журналисты превращаются в стенографистов" [3]. В этих условиях руки журналиста связаны настолько, что он не может быть никем, кроме стенографа [3].

Свои высказывания Сейфе подкрепляет следующим примером: "В 2014 г. временное эмбарго использовал Гарвард – Смитсоновский центр астрофизики, когда объявил дюжине репортеров, что исследователи обнаружили слабые сигналы гравитационных волн от ранней Вселенной. "Вы можете разговаривать лишь с теми из ученых, кто уже видел статьи: мы не хотим излишнего распространения сведений", – говорила менеджер по внешним сношениям Кристина Пуллиэм" [3].

"В последние годы было проведено несколько исследований, которые показывают, что научное сообщество по-прежнему препятствует общению отдельных исследователей с непрофессиональной аудиторией, если речь идет об именитых ученых высшего ранга" это явление получило название – эффект Сагана [3].

Карл Саган в значительной степени благодаря своей широкой известности, подвергался насмешкам со стороны коллег, и это негативно отражалось на его карьере [4].

В настоящее время влияние участия в популяризации науки на результаты профессиональной деятельности ученых в разных странах исследовано недостаточно, однако, имеющиеся результаты указывают на то, что "Эффект Сагана" все еще порождает трудности.

В подобных ситуациях общество лишается исчерпывающей информации, необходимой для принятия адекватных решений по наиболее сложным проблемам современности – в области генной инженерии, изменения кли-

мата, альтернативных источников энергии. Ограничение свободы высказывания в сообществе ученых негативно отражается на решении важных вопросов в области политики и экономики, способствует усилению влияния пиарщиков различных политических направлений, и лишь научные факты могут этому помешать. И, чем больше ученый выступает публично, тем реже слышны аргументы, в поддержку антинаучные и псевдонаучные взгляды" [4].

Следует отметить, что расширяющееся быстрыми темпами использование социальных медиа, таких как Twitter, Facebook и авторских блогов, помимо прочих перемен, происходящих в научном мире в последние годы, похоже, ломает некоторые из давнишних преград на пути к более широкому диалогу между учеными и обществом [4].

В результате исследований выяснился неожиданный факт. Распространенное в научном обществе мнение о том, что популяризаторы науки не могут быть серьезными учеными, не выдерживает критики, если обратиться к фактам. Множество проведенных сегодня исследований указывает на то, что ученые, которые регулярно выступают на публике, более успешны и в научной деятельности. В частности, в 2008 г. опрос более чем 3,5 тыс. ученых из национального центра научных исследований Франции показал, что активные пропагандисты науки опубликовали больше статей в рецензируемых изданиях и имели более высокий индекс цитируемости, чем их коллеги, не занимающиеся распространением научных знаний.

В рамках другого исследования было подсчитано количество научных работ и научно-популярных статей, опубликованных с 2005 по 2007 г. учеными в Аргентине, Австралии, Бразилии, Канаде, Финляндии, Германии, Гонконге, Италии, Малайзии, Мексике, Норвегии, Великобритании и США. Результаты свидетельствуют, что ученые, пишущие о науке в популярных изданиях, и опубликовали больше работ в академических изданиях, и в целом трудились больше, чем основная масса их коллег (в среднем 49,3 ч в неделю против 47,8 ч у остальных). В таком режиме работал и Саган: на протяжении всей 40-летней карьеры он опубликовал в среднем по одной научной работе в месяц – вплоть до своей смерти в 1996" [4].

Уровень научного мировоззрения является одним из важнейших признаков культуры специалиста и связан с формированием современного инженерного инновационного мышления. При решении научно-технических задач существенную помощь оказывает привлечение знаний и методов не только смежных областей, но порой и весьма удаленных. Взаимное проникнове-

ние терминов и методов является характерным для современного этапа развития науки. Интеграции знания способствует взаимное проникновение терминов, например "энтропия" и других. Следует отметить, что в настоящее время в курсах физики, химии и биологии слабо отражена их мировоззренческая составляющая, недостаточное внимание уделяется освещению современных проблем науки.

Модернизация и развитие курса общей физики связаны с возрастающей ролью фундаментальных наук в подготовке бакалавра. Внедрение высоких технологий в инженерную практику предполагает основательное изучение как классических, так и новейших методов и достижений современной физической науки. При этом бакалавр должен получить не только знания в области физики, но и навыки их дальнейшего пополнения, научиться пользоваться современной литературой, в том числе электронной.

Физика создает универсальную базу для изучения общепрофессиональных и специальных дисциплин, закладывает фундамент последующего обучения в магистратуре, аспирантуре. Она даёт цельное представление о физических законах окружающего мира в их единстве и взаимосвязи, вооружает бакалавров необходимыми знаниями для решения научно-технических задач в теоретических и прикладных аспектах.

Значение курса общей физики в высшем образовании определено ролью науки в жизни современного общества. Наряду с освоением знаний о конкретных экспериментальных фактах, законах, теориях в настоящее время учебная дисциплина "Физика" приобрела исключительное гносеологическое значение. Именно эта дисциплина позволяет познакомить студентов с научными методами познания, научить их отличать гипотезу от теории, теорию от эксперимента. Поэтому программа дисциплины "Физика" должна быть сформирована таким образом, чтобы дать студентам представление об основных разделах физики, познакомить их с наиболее важными экспериментальными и теоретическими результатами. Эта дисциплина призвана провести границу между научным и антинаучным подходом в изучении окружающего мира, научить строить физические модели происходящего и устанавливать связь между явлениями, привить понимание причинно-следственной связи между явлениями. Обладая логической стройностью и опираясь на экспериментальные факты, дисциплина "Физика" является идеальной для решения этой задачи, формируя у студентов подлинно научное мировоззрение.

Дисциплина "Физика", входящая в Федеральный компонент цикла общих математических и естественнонаучных дисциплин в государственных

образовательных стандартах 3-го поколения, предназначена для ознакомления студентов с современной физической картиной мира, приобретения навыков экспериментального исследования физических явлений и процессов, изучения теоретических методов анализа физических явлений, обучения грамотному применению положений фундаментальной физики к научному анализу ситуаций, с которыми инженеру приходится сталкиваться при создании новой техники и технологий, а также выработки у студентов основ естественнонаучного мировоззрения и ознакомления с историей развития физики и основных её открытий.

В результате освоения дисциплины "Физика" студент должен изучить физические явления и законы физики, границы их применимости, применение законов в важнейших практических приложениях; познакомиться с основными физическими величинами, знать их определение, смысл, способы и единицы их измерения; представлять себе фундаментальные физические опыты и их роль в развитии науки; знать назначение и принципы действия важнейших физических приборов.

Кроме того, студент должен приобрести навыки работы с приборами и оборудованием современной физической лаборатории; навыки использования различных методик физических измерений и обработки экспериментальных данных; навыки проведения адекватного физического и математического моделирования, а также применения методов физико-математического анализа к решению конкретных естественнонаучных и технических проблем.

Предполагается, что бакалавр, независимо от профиля подготовки, должен понимать и использовать в своей практической деятельности базовые концепции и методы, развитые в современном естествознании. Эти концепции и методы должны лечь в основу преподавания дисциплин естественнонаучного и инженерного циклов, а также дисциплин специализации.

Приступая к изучению дисциплины "Физика", студент должен знать физику в пределах программы средней школы (как минимум – на базовом уровне). Требования к математической подготовке студента, безусловно предполагающие знание школьного курса математики, оказываются более высокими.

При построении программы курса общей физики следует опираться не только на опыт преподавания физики в высшей школе России, но и учитывать разработки в этой области, созданные в высшей школе других стран.

Чтобы обеспечить конкурентоспособность выпускников российской высшей школы на международном уровне и успешное развитие российской про-

мышленности в рамках мировой экономической ситуации, вузы Российской Федерации должны обеспечить своим выпускникам уровень подготовки, соответствующий мировым стандартам. Кроме того, присоединившись в 2003 г. к Болонскому соглашению, российская высшая школа должна обеспечивать уровень подготовки выпускников, соответствующий международным требованиям.

Учитывая уникальную гносеологическую и дидактическую роль курса физики, являющегося одновременно основой и связующим звеном для большей части инженерных и многих естественнонаучных дисциплин, целесообразно рассматривать вопрос о выделении объема учебной нагрузки, предназначенной для изучения курса физики, за счет как федерального, так и вузовского компонентов основных образовательных программ.

В заключении наметим некоторые пути повышения эффективности преподавания физики в вузе. Освещение в лекционном курсе основных этапов развития физики, эту область естествознания следует излагать как науку экспериментальную [2], прежде всего. Физика – наука мировоззренческая, в процессе её изложения необходимо уделять серьёзное внимание её философским проблемам. Лекционный курс должен популяризировать достижения современной науки и прививать интерес к ней.

Библиографический список

1. Гессе, Г. Магия книги / Г. Гессе. – М. Лимбус – пресс. 2012. – 336 с.
2. Решение XIII международной учебно-методической конференции "Современный физический практикум" // Физическое образование в вузах. – 2015. – Т. 21. – № 1. – С. 133–148.
3. Сейфе, Ч. Как пиарить новости науки / Ч. Сейфе // В мире науки – 2016. – № 12. – С. 24–32.
4. Мартинес-Конде, С. О тяжелой доле популяризаторов науки / С. Мартинес-Конде, С, Мэкнин, Д. Пауэлл // В мире науки – 2016. – № 12. – С. 36–40.

**ТЕХНОЛОГИИ СТРОИТЕЛЬСТВА
В УСЛОВИЯХ АРКТИКИ:
ИЗУЧЕНИЕ ОПЫТА И РАЗВИТИЕ
НОВЫХ НАПРАВЛЕНИЙ**

Влияние армирования грунта засыпки на несущую способность и устойчивость анкерной подпорной стены

Антонов В. М.¹, Артюшкин П. А.², Шишов Д. М.²

¹ (г. Мурманск, ФГБОУ ВО "Мурманский государственный технический университет", кафедра промышленного и гражданского строительства)

² (г. Тамбов, ФГБОУ ВО "Тамбовский государственный технический университет", кафедра конструкции зданий и сооружений)

Аннотация. Приведены результаты экспериментальных исследований устойчивости анкерной подпорной стены с армированной обратной засыпкой. Рассмотрены случаи многослойного армирования и циклического приложения нагрузки.

Abstract. The results of experimental studies of the stability of an anchor retaining wall with reinforced backfilling are presented. The cases of multilayer reinforcement and cyclic load application are considered.

Ключевые слова: армирование, подпорная стена, нагрузка, горизонтальное перемещение.

Key words: reinforcement, retaining wall, load, horizontal movement.

Подпорные стены являются одним из важных и широко распространенных видов инженерных сооружений. В строительстве они служат для поддержания откосов, выемок, насыпей, естественных склонов, набережных, крепления строительных котлованов и траншей, в качестве противооползневых и берегоукрепительных сооружений.

На подпорные стены действуют изменяющиеся во времени нагрузки. От собственного веса и от пригрузки, которая находится на поверхности засыпки создается активное давление, которое приводит к перемещению подпорной стены. Армирование засыпки позволяет включить в работу дополнительный объем грунта, снизить давление, облегчить и удешевить саму подпорную конструкцию[1].

Лабораторные исследования устойчивости анкерных подпорных стен выполняются в лаборатории механики грунтов ТГТУ в течение ряда лет. Цель исследований – выявить влияние многослойного армирования на несущую способность и характер развития перемещений подпорной стены.

Эксперименты проводили с металлической моделью подпорной стены с шириной подошвы(b) 150 мм, высотой (h) 300 мм и длиной (l) 500 мм.

Для повышения жесткости использовали 5 контрфорсов, располагающихся по длине с шагом 125 мм. Модель стены удерживала вертикальный откос, сложенный мелким однородным маловлажным песком. В откосе располагали несколько армирующих элементов в виде металлических сеток размерами 100×500 мм (сетка 1) или 200×500 мм (сетка 2) ($b \times l$), шаг стержней арматуры 20 мм, диаметр 4 мм. Крепление арматуры к модели – шарнирное. Расстояние от подошвы модели до армирующего элемента $h_1 = 140, 200$ мм. Модель располагалась в металлическом лотке размерами 600×700×1 000 мм ($b \times h \times l$), оснащенный рычажной системой с передаточным числом 1:7. Нагрузка на поверхность откоса передавалась через плоский металлический штамп с размерами 100×200 мм. Изменяли место приложения нагрузки от грани подпорной стены (e) – 80, 120, 190 мм.

Для каждой ступени было выполнено по 5 циклов нагрузки – разгрузки. Ступень нагрузки выдерживали до условной стабилизации деформаций, затем разгружали и снова прикладывали нагрузку на ступень выше [2]. Серии экспериментов представлены на рис. 1.

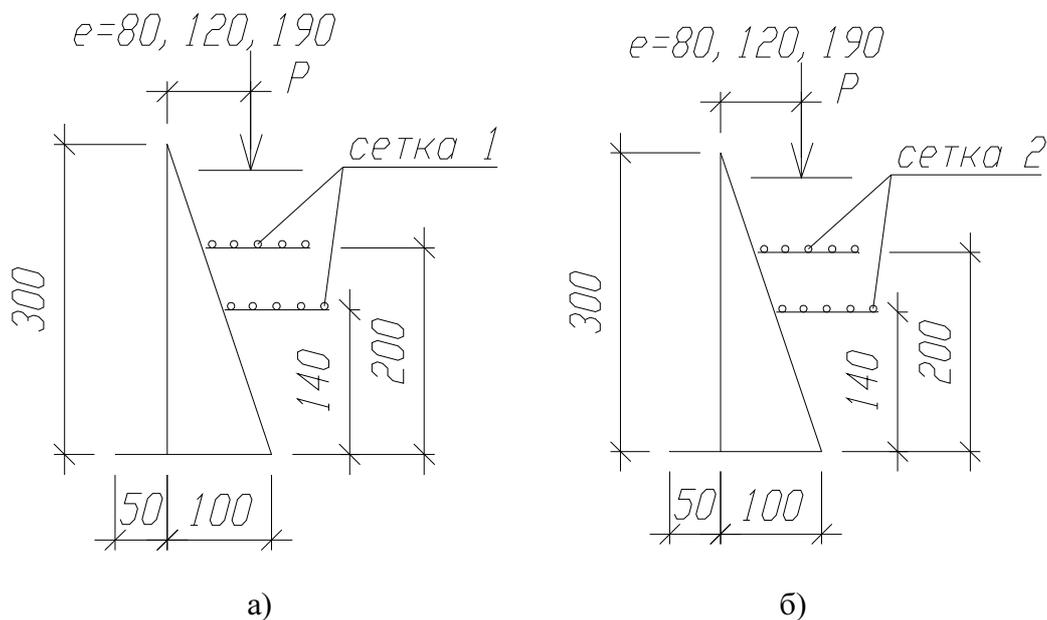


Рисунок 1 – Серии экспериментов

а) серия 1 – две сетки 100×500 мм; б) серия 2 – две сетки 200×500 мм

В ходе испытаний определяли осадку (s) и горизонтальное перемещение стены (u) во всем диапазоне нагрузок индикаторами часового типа ИЧ-10.

Результаты экспериментов представлены на рис. 2.

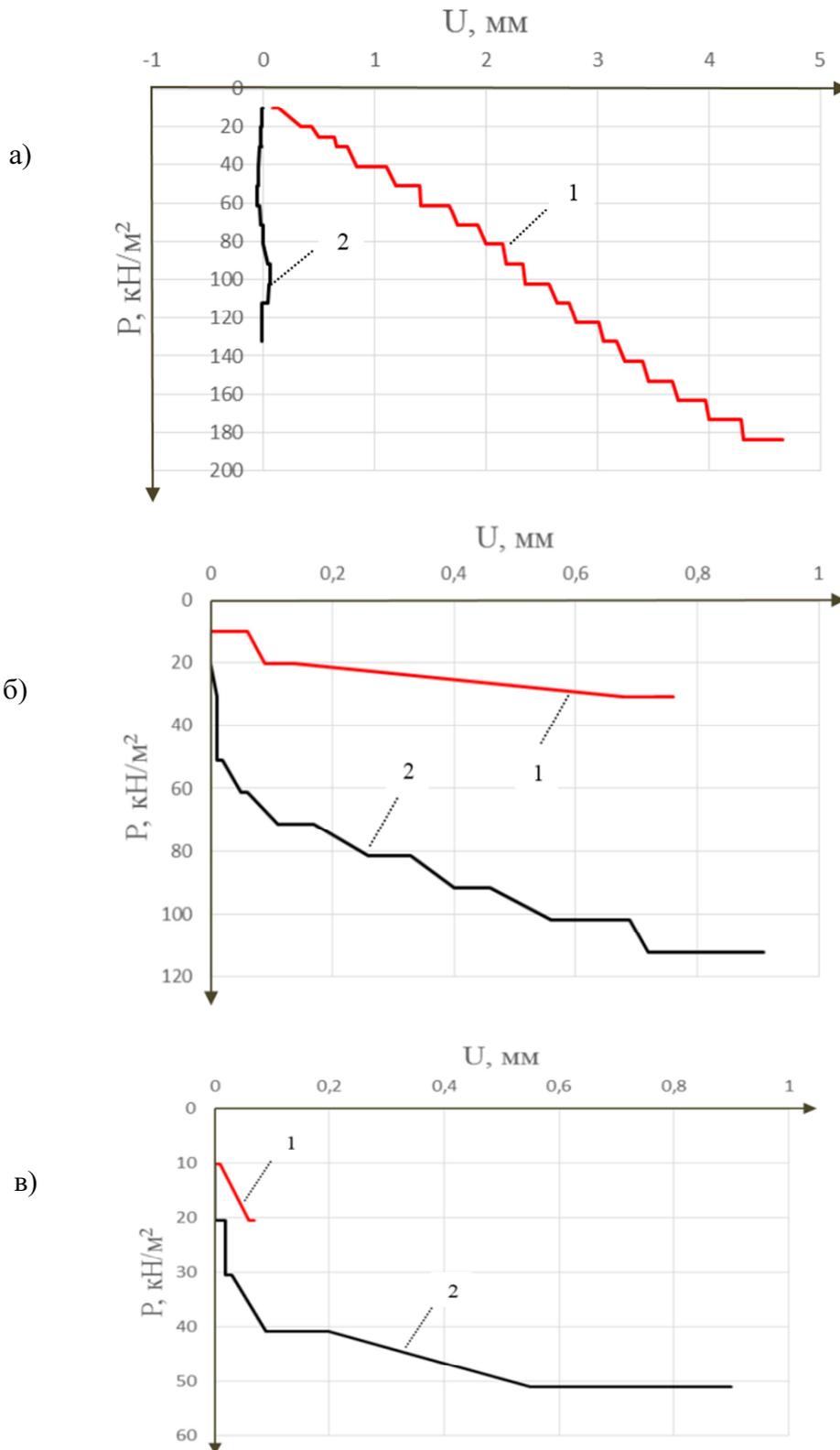


Рисунок 2 – Влияние размеров армирующего элемента на развитие горизонтальных перемещений модели при расстоянии до места приложения пригрузки: $e = 80$ мм (а); $e = 120$ мм (б); $e = 190$ мм (в); 1 – серия 1; 2 – серия 2

Графики по сравнению предельного давления под подошвой штампа, соответствующего разрушающей нагрузке приведены на рис. 3.

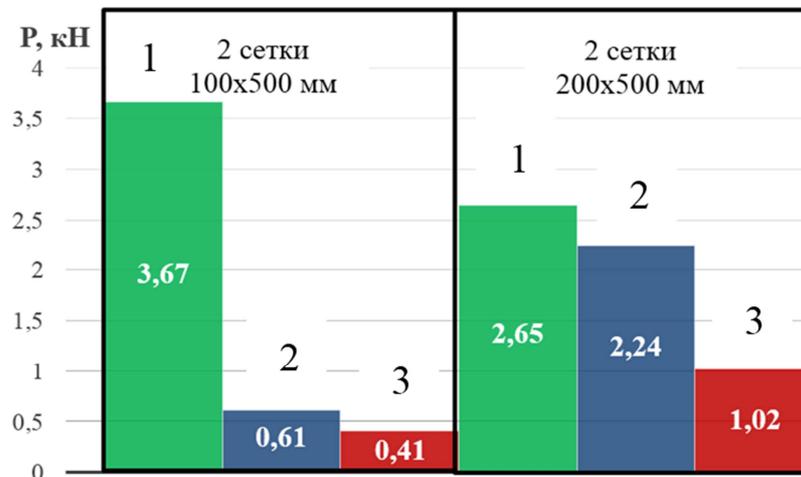


Рисунок 3 – Значения предельного давления при многослойном армировании
Обозначения: $e = 30\text{мм}$ (1); $e = 70\text{мм}$ (2); $e = 140\text{мм}$ (3); $e = 210\text{мм}$ (4)

По графикам видно что увеличение размеров армирующего элемента дает эффект только при увеличении расстояния от точки приложения нагрузки от опорной стены. Значения предельного давления на поверхность армированной засыпки более, в 2 раза больше, чем значения полученные с неармированным грунтом.

Библиографический список

1. Антонов, В. М. Экспериментальные исследования армированных оснований: монография / В. М. Антонов. – Тамбов : Изд-во ГОУ ВПО ТГТУ, 2011. – 80 с.
2. Акатушев, Д. М. Экспериментальное исследование армированных оснований при действии статической и циклической нагрузок / Д. М. Акатушев, С. А. Выборнов, Ю. Л. Илясов // Межвуз. сб. науч. тр. / Воронеж. гос. архит.-строит. ун-т. – Воронеж, 2002. – С. 21–45.

Влияние модифицированной базальтовой микрофибры на свойства жаростойкого вермикулитобетона

Бастрыгина С. В., Конохов Р. В. (г. Анапты, ФГБУН ИХТРЭМС КНЦ РАН, e-mail: bastr_sv@chemy.kolasc.net.ru)

Аннотация. Приведены результаты исследований свойств жаростойкого вермикулитобетона с наномодифицированной базальтовой микрофиброй. Изучены свойства фибры и определено ее оптимальное количество в составе бетона. Установлено, что введение фибры улучшает основные показатели бетона в среднем на 10 % по сравнению с бездобавочным составом.

Abstract. The results of studies of the properties of heat-resistant vermiculite concrete with nanomodified basalt microfiber are presented. The properties of fiber and the determination of its optimum amount in the composition of concrete have been studied. It is established that the introduction of fiber improves the main indicators of concrete by an average of 10% compared with the additive composition.

Ключевые слова: базальтовая микрофибра, наномодификатор, жаростойкий вермикулитобетон, состав, свойства.

Key words: basalt microfiber, nanomodifier, heat-resistant vermiculite concrete, composition, properties.

Эффективность работы энергоемких технологических установок требуют применения современных теплоизоляционных материалов. К таким материалам предъявляются особые требования, к которым относятся стойкость при высоких температурах, пожарная безопасность (негорючесть), отсутствие газовыделения при нагреве, низкая плотность и долговечность в условиях переменных тепловых и климатических нагрузок. В течение длительного времени основой легких теплоизоляционных и термически стойких материалов служили добываемые природные волокнистые материалы, наиболее известными из которых являются представители группы асбеста. Из искусственных волокнистых материалов широкое распространение получили различные минераловатные изделия, получаемые из неорганического сырья на преимущественно силикатной или алюмосиликатной основе [1].

По ряду существенных для стройматериалов параметров – термической и химической стойкости, стабильности фазового состава – минеральная вата, получаемая из природных базальтов, превосходит аналогичные волокнистые материалы, получаемые из отходов металлургических производств и сырья

стекольной промышленности [2]. Базальтовое волокно (фибра) является эффективной армирующей добавкой для цементосодержащих растворов, различных бетонных, железобетонных и огнеупорных изделий, а также сухих строительных смесей.

Новым направлением в модификации бетонов и строительных растворов является также применение ультрадисперсных наноразмерных частиц. Среди них особое значение приобретают модификаторы фуллероидной структуры с размерами частиц от нескольких десятков до нескольких сотен нанометров. Фуллерены и углеродные нанотрубки [3] представляют огромный интерес в свете различных аспектов своих свойств, в том числе и по механической прочности. Возможной областью промышленности, в которой можно ожидать масштабное применение наноструктурирования бетонов, в самое ближайшее время окажется производство наноструктурированных легких бетонов. Основанием для такого прогноза служат результаты экспериментальных работ [4, 5], выполненных коллективом исследователей ООО "НТЦ прикладных нанотехнологий", г. Санкт-Петербург, по получению стандартных блоков из ячеистого нанобетона плотностью 300–800 кг/м³. Дисперсное армирование таких композиций наномодифицированной базальтовой микрофиброй (МБМ) привело к заметному увеличению выхода качественных блоков в условиях реального производства вследствие повышения трещиностойкости и прочности на сжатие, сокращению производственного цикла, а также снижению плотности ячеистого бетона на 8–10 % при одновременном повышении физико-механических показателей.

Задача исследований заключалась в изучении возможности использования наномодифицированной базальтовой микрофибры в жаростойком конструкционно-теплоизоляционном вермикулитобетоне с целью улучшения его свойств.

В качестве МБМ использовались промышленные отходы базальтовой фибры, производимой из расплава базальтовых пород (ГОСТ 4640) и измельченной на специальной лепестковой мельнице. Перед упаковыванием фибры в ее состав вводят воду и углеродный наномодификатор фуллероидного типа по ТУ 2166-001-13800624-2003, получивший название "Астрален". В зависимости от того, какой нанобетон необходимо изготовить, концентрация астралена варьируется от 0.0001 до 0.01 % от массы фибры. Рекомендуемое содержание МБМ в зависимости от вида и назначения бетона составляет 1.5–20 % от массы цемента. Отбор пробы МБМ производился в НТЦ

Прикладных нанотехнологий (г. Санкт-Петербург). Внешний вид фибры приведен на рис. 1.



Рисунок 1 – Внешний вид модифицированной базальтовой микрофибры

Основные характеристики МБМ: средний диаметр волокна – 8–10 мкм, средняя длина волокна – 100–500 мкм, насыпная плотность – 400 кг/м³, влажность – не более 2 % по массе, содержание органических веществ – не более 2 % по массе, цвет – от жёлтого до коричневого.

Структура фибры, как видно из рис. 2, представлена в основном линейными волокнами стабильного диаметра с обломанными концами и волокнами с наростами-утолщениями.

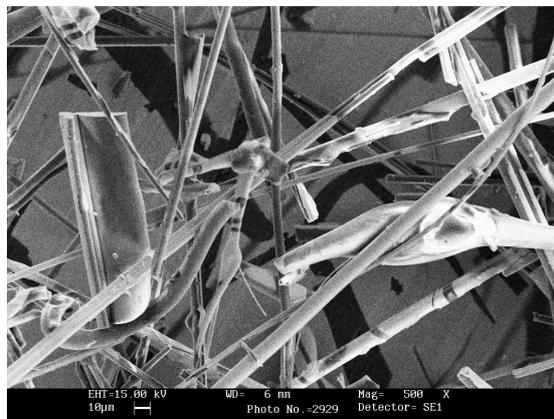


Рисунок 2 – Микрофотография МБМ

Химический состав базальтовой микрофибры, мас. %: SiO₂ – 37.40, Al₂O₃ – 14.92, Fe₂O₃ – 7.01, CaO – 14.65, MgO – 6.25, TiO₂ – 2.06, P₂O₅ – 0.62, Na₂O – 2.13, K₂O – 0.64, MnO – 0.17, SO₃ – 0.16, CO₂ – 10.43, п.п.п. – 3.63.

Эффективная удельная активность $A_{эфф}$ составляет 105±20 Бк/кг (т. е. менее 370 Бк/кг), что позволяет использовать фибру без ограничений по радиационному фактору.

В качестве основных материалов, используемых при разработке бетона, являлись: вермикулит Ковдорского месторождения смешанной фракции плот-

ностью 110 кг/м³, портландцемент ЗАО "Пикалевский цемент" М400Д0 с расходом 400 кг/м³, золошлаковая смесь (ЗШС) Апатитской ТЭЦ в количестве 25 % от массы цемента и модифицированная базальтовая микрофибра.

Первый этап эксперимента заключался в изучении влияния количества МБМ на прочностные характеристики вермикулитобетона и выбор оптимального состава. Были разработаны составы с различным содержанием МБМ. Результаты приведены на рис. 3, из которого видно, что наибольшие прочностные характеристики имел состав с 5 % содержанием фибры.

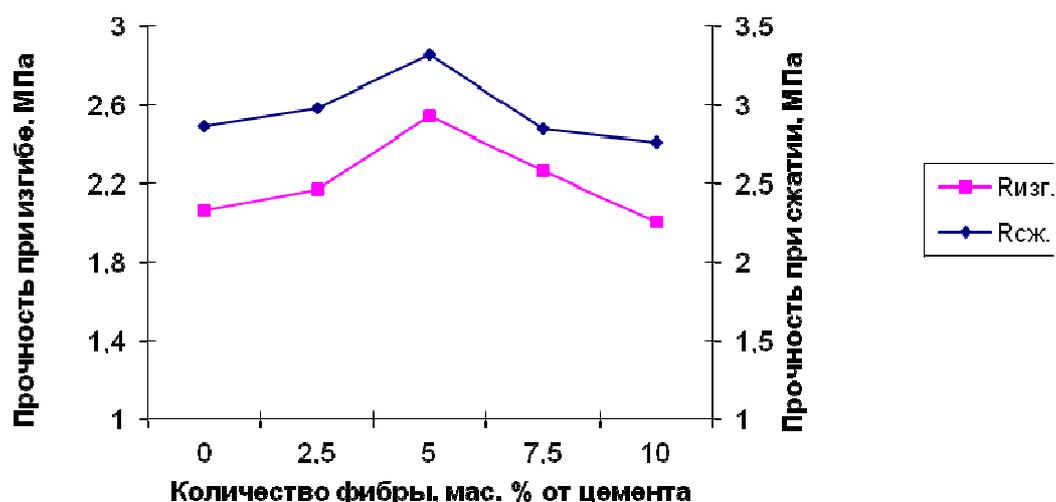


Рисунок 3 – Влияние количества фибры на прочностные характеристики бетона

С учетом полученных результатов были изготовлены образцы бетонов контрольного состава и состава с 5 % МБМ. Результаты испытаний полученных бетонов приведены в таблице, из которой видно, что введение модифицированной фибры приводит к увеличению прочностных характеристик, снижению усадочных деформаций и коэффициента теплопроводности в среднем на 10 % по сравнению с бездобавочным составом. Термостойкость увеличилась более чем на 50 %.

Таблица 1 – Основные свойства жаростойкого бетона

№ состава	Плотность бетона, кг/м ³	Прочность при сжатии, МПа		Усадка при 800 °С, %	Остаточная прочность при 800 °С, %	Коэффициент теплопроводности, Вт/м °С	Термостойкость, циклы
		после пропарки и сушки	после 28 суток и сушки				
1	780	3.80	4.00	2.57	32.5	0.139	15
2	744	4.32	4.52	2.00	37.8	0.130	25

Примечание. 1 состав – контрольный; 2 состав – с 5 % МБМ.

Образцы обоих составов были заложены на длительное хранение с целью определения прочностных показателей в различные сроки твердения: 6, 12, 24 месяца. Данные исследования приведены на рис. 4, который показывает, что в ранние сроки твердения значительного увеличения прочности не наблюдается. Набор прочности образцами начинается с 6 мес., достигая к 2 годам хранения почти двухкратного ее увеличения по сравнению с прочностью в проектном возрасте.

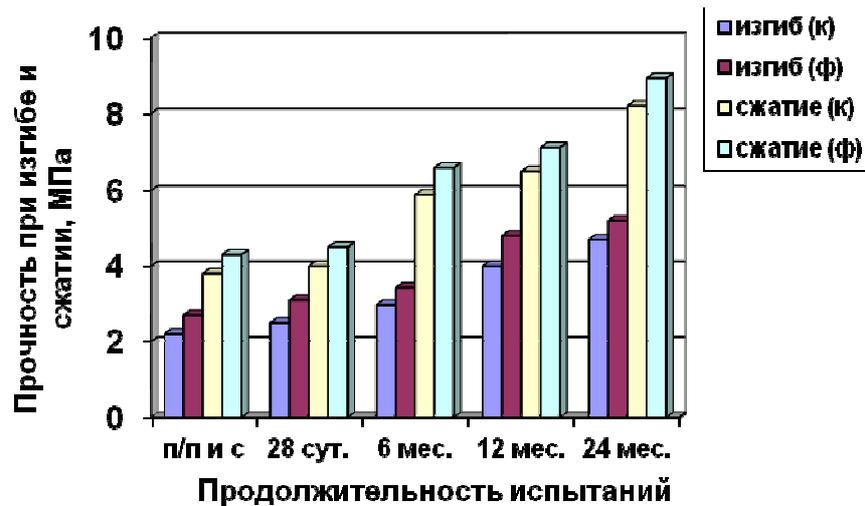


Рисунок 4 – Зависимость прочностных характеристик бетона от продолжительности испытаний

Структура бетона с МБМ изучалась с помощью растрового электронного микроскопа SEM LEO-420. На фотографии (рис. 5) видно, что структура образца вермикулитобетона с МБМ представлена в основном сросшимися агломератами, состоящими из зернистых образований цементной матрицы, между которыми расположены волокна, на поверхности которых присутствуют тонкие, гексагональные пластины и игольчатые кристаллы, срастающиеся с цементными зернами, и являющиеся продуктами взаимодействия поверхностного слоя фибры и продуктами гидратации цементной системы. Новообразования в основном расположены по границе цементного камня и микрофибры, что свидетельствует о хемосорбционном взаимодействии с появлением дополнительных новообразований, возможно относящихся к низкоосновным гидросиликатам кальция. У образцов нет продольных волокну трещин, что свидетельствует об отсутствии значительной деградации фибры в цементной матрице.

Таким образом, на основании проведенных исследований установлено, что оптимальное количество модифицированной базальтовой микрофибры в составе жаростойкого вермикулитобетона составляет 5мас.%. Введение МБМ позволяет увеличить прочностные характеристики, снизить усадочные деформации и коэффициент теплопроводности в среднем на 10 % по сравнению с бездобавочным составом.

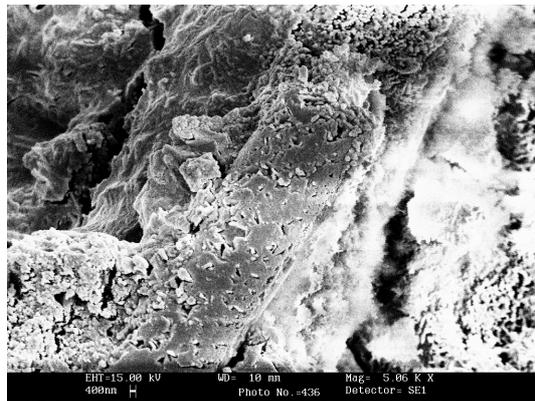


Рисунок 5 – Микрофотография вермикулитобетона с МБМ

Библиографический список

1. Рабинович Ф. Н. Композиты на основе дисперсно-армированных бетонов. Вопросы теории и проектирования, технология, конструкции. М. : АСВ, 2004. 560 с.
2. Аблесимов Н. Е., Земцов А. Н. Релаксационные эффекты в неравновесных конденсированных системах. Базальты: от извержения до волокна. М. : ИТиГ ДВО РАН, 2010. 400 с.
3. Елецкий А. Н. Углеродные нанотрубки // Успехи физических наук. 2000. Т. 170, № 2. 113 с.
4. Бальмаков М. Д., Пухаренко Ю. В. Нанокпозиционное материаловедение // Вестник гражданских инженеров. 2005. № 3 (4). С. 53–57.
5. Пономарев А. Н. Синергизм наноструктурирования цементных вяжущих и анизотропных добавок // Индустрия. 2005. № 2. С. 7–8.

Сравнительный минералогический анализ золоотходов от сжигания водоугольного топлива при различных способах углеподготовки

Белогурова Т. П., Нерадовский Ю. Н., Миханошина И. А. (*г. Анапиты, ИХТРЭМС КНЦ РАН, лаборатория бетонов; г. Мурманск, МГТУ, кафедра ПГС; e-mail: belog_tp@chemy.kolasc.net.ru*)

Аннотация. В статье представлен сравнительный минералогический анализ золоотходов от сжигания водоугольного топлива, приготовленного на основе двух видов угля при различных способах углеподготовки. С помощью методов рудной микроскопии показано, что более интенсивные процессы горения с образованием легкой сферообразной золы идут в пробах углей, подвергнутых кавитационной обработке.

Abstract. The work presents a comparative mineralogical analysis of the ash waste of combusted coal slurry prepared from two kinds of coal using different preparation techniques. Microscopic studies have revealed that combustion yielding light spherical ash is the most intensive in the coal samples preliminarily subjected to cavitation treatment.

Ключевые слова: уголь, антрацит, измельчение, дезинтегратор, кавитация, зола.

Key words: coal, anthracite, crushing, disintegrator, cavitation, ash.

В связи с ростом цен на нефть и газ Стратегией РФ в сфере производства тепловой и электрической энергии предусмотрено ускоренное развитие угольной энергетики. При этом возвращение угля в топливно-энергетическую структуру страны должно основываться на применении новых энергоэффективных, ресурсосберегающих и экологически безопасных технологиях. В настоящее время в угольной энергетике в большей степени применяется способ сжигания углей в виде пылеугольного топлива (ПУТ). Альтернативным способом, позволяющим снизить отрицательное воздействие продуктов сгорания на окружающую среду, является сжигание угля в виде водоугольной суспензии (ВУС) [1]. В связи с этим все более приоритетными и востребованными становятся технологии микропомола, связанные с высокодисперсным измельчением углей [2]. Кроме того, при сжигании угля в виде ПУТ и ВУС образуются тонкодисперсные золоотходы, утилизация которых также является актуальной проблемой, требующей быстрого решения.

В рамках совместного изучения данной проблемы Институтом химии и Институтом теплофизики им. С. С. Кутателадзе Сибирского отделения (ИТ СО) РАН проводятся исследования по оптимизации технологии приготовления и сжигания водоугольного топлива (ВУТ), изучению получаемых

золоотходов и эффективности их использования в бетонах [3, 4]. В предыдущей работе [5] рассмотрены вопросы влияния высокоэнергетического воздействия на уголь в процессе приготовления ПУТ и ВУС путем помола на шаровой барабанной мельнице с последующим доизмельчением на дезинтеграторе (ПУТ) или на гравитационном генераторе кавитации (ВУС). Исследования выполнялись на образцах водоугольного топлива (ВУТ), приготовленного из антрацита и угля Беловского разреза (Кузбасс). На основании исследований, проведенных с помощью минералогических, физико-химических методов анализа и растровой микроскопии показали, что наиболее перспективным способом измельчения угля является кавитационная обработка.

Настоящая работа является вторым этапом исследований, в которой проводится сравнительный анализ золоотходов от сжигания ВУТ, приготовленного из двух видов угля по различными технологиям углеподготовки. В данной работе представлены результаты изучения золоотходов методами рудной микроскопии, позволяющими исследовать механизм формирования тонких частиц, как при подготовке ПУТ, так и оценке качества его сгорания. К ним относятся оптические методы исследования в отраженном поляризованном свете, широко применяемые для анализа минерального сырья [6]. Данные минералогические исследования обладают рядом преимуществ перед "слепыми" методами. Во-первых, они позволяют диагностировать все минеральные фазы, как неорганические, так и органические, с высоким разрешением, во-вторых – изучать морфологию частиц и минеральных агрегатов, в-третьих – систематизировать минеральные органические минеральные фазы по степени углефикации и т. д. Методика определения минерального состава золоотходов состоит из 2-х стадий исследований. Сначала исследования проб проводятся в порошках с помощью бинокюляра МБС-10; затем из порошкового материала на основе эпоксидной смолы изготавливаются капсулы с последующей приполировкой. Исследования выполняются на микроскопах отраженного света ПОЛАМ Р-312(ЛОМО), Ultraphot – 3 (Opton) и др., с увеличением до $1\ 500^{\times}$, разрешением до 0.2 мкм. Диагностика минералов основана на применении оптических и других физических свойств, а также сопоставлении с эталонными минералами [7, 8].

При исследованиях исходного ВУТ пробам по виду угля и способу его подготовки были промаркированы следующим образом: А и У – антрацит и уголь Беловского разреза, измельченные на шаровой барабанной мельнице; АД и УД – антрацит и беловский уголь с доизмельчением на дезин-

теграторе; АК и УК – антрацит и беловский уголь с доизмельчением на генераторе кавитации.

Для получения золоотходов шесть образцов водоугольного топлива подвергались сжиганию в электрической муфельной печи при температуре 1 200 °С в течение 1 часа с 3-х разовым перемешиванием. Их сжигание при более высоких температурах приводило к частичному оплавлению золы. Необходимо отметить, что при сжигании одинаковых навесок образцов в одном режиме максимальное количество золы получалось от проб А и У. В пробах ВУТ с маркировками АД и УД золы образовывалось гораздо меньше, а пробы АК и УК сгорали практически полностью с минимальным количеством золы. Это свидетельствует о том, что для ВУТ с кавитационной обработкой процесс горения характеризуется наибольшей полнотой выгорания топлива.

Золоотходам от сжигания шести проб ВУТ были присвоены следующие обозначения: ЗА и ЗУ – золы из антрацита и беловского угля, измельченных на шаровой барабанной мельнице; ЗАД и ЗУД – золы из антрацита и беловского угля, доизмельченных на дезинтеграторе; ЗАК и ЗУК – золы из антрацита и беловского угля с доизмельчением на генераторе кавитации.

Перед исследованием на микроскопе золоотходы просеивались сквозь сито 1.0 мм для разделения на крупную фракцию >1 мм и мелкую <1 мм. Измерение размеров зерен выполняется насадкой МОВ-1-15^x к оптическим микроскопам, минимальный размер измеряемого зерна составляет 0.0025 мм. Определение количества минералов проводилось на основе стандартных таблиц по методу С.А. Вахромеева. Фотографирование выполнялось цифровой камерой Canon Pover Shot A520 с компьютерной обработкой изображения.

На рисунке представлены основные минеральные фазы шести проб золоотходов от сжигания ВУТ на основе антрацита и угля Беловского разреза при различных видах обработки.

Проба ЗА – зола от сжигания антрацита, размолотого в шаровой мельнице, представляет собой смесь силикатных частиц шлака и остатков несгоревшего антрацита, количество которых составляет 35–40 %. В шлаковых частицах фиксируется появление восстановленного металлического железа и разных силикатов, кроме стекла. Большое количество несгоревшего антрацита свидетельствует о некачественном сгорании пробы. Крупная фракция частиц золы представлена сложными по структуре частицами шлака (рис. ЗА-а) и остатками сгорания антрацита (рис. ЗА-б). Количество

антрацита в крупной фракции золы достигает 70 %, т. е. по сравнению с мелкой фракцией, крупные частицы антрацита сгорали хуже.

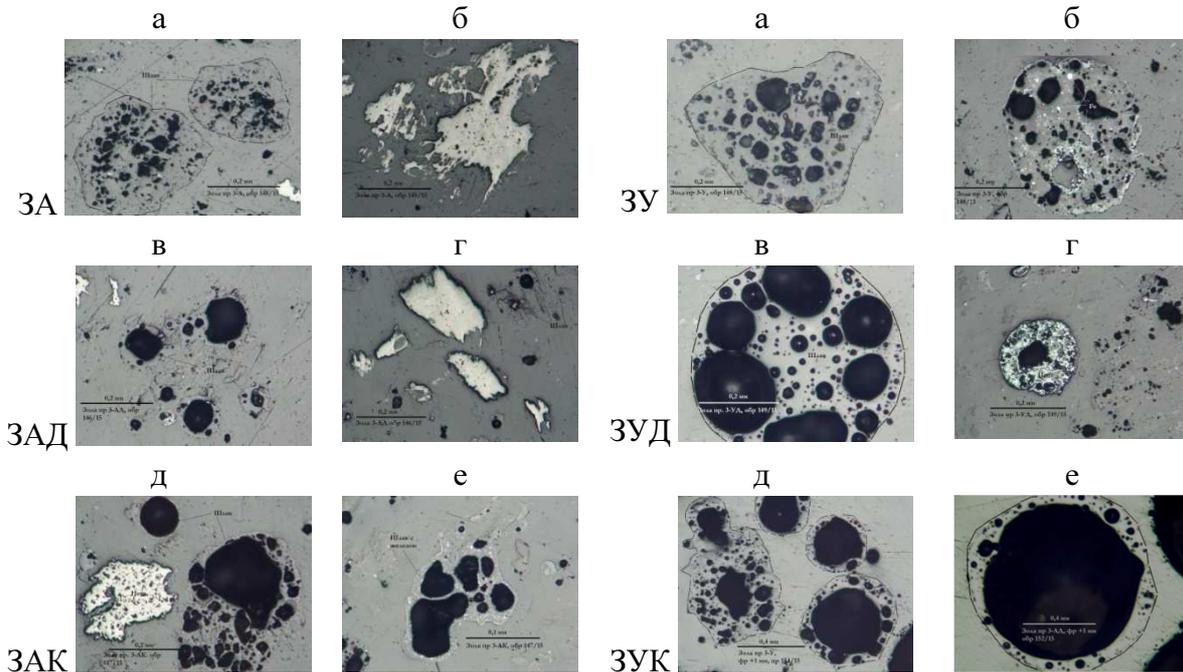


Рисунок 1 – Основные минеральные фазы золоотходов:

- ЗА-а – шлак силикатный с неправильными контурами зерен;
- ЗА-б – остаточная форма сгорания антрацита;
- ЗАД-в – шлаковые частицы шарообразной пузырчатой формы в золе;
- ЗАД-г – остатки от сгорания антрацита;
- ЗАК-д – частицы шлака сложной формы и гематита в золе;
- ЗАК-е – частицы шлака с включениями мелкого железа;
- ЗУ-а – типичный шлак после сгорания бурого угля;
- ЗУ-б – шлак с примесью металлического железа после сгорания угля;
- ЗУД-в – шарообразная пызырчатая частица шлака;
- ЗУД-г – шарообразная частица гематита;
- ЗУК-д – частицы шлака различной структуры;
- ЗУК-е – пузырчатая форма частицы шлака

Проба ЗАД – зола из дезинтегрированного антрацита характеризуется уменьшением количества несгоревшего антрацита до 15–20 %, что указывает на более эффективное сгорание, связанное, вероятно, с уменьшением размеров частиц. Крупная фракция золы от сжигания антрацита после измельчения на дезинтеграторе отличается от мелкой фракции увеличением количества несгоревшего антрацита до 50 % (рис. ЗАД-г), т. е. крупные частицы сгорали хуже, как и в предыдущей пробе. Следует отметить образование в крупной фракции золы шарообразных частиц шлака типа полых

стеклянных шаров, очень легких, всплывающих даже в эпоксидной смоле (рис. ЗАД-в).

Проба ЗАК – зола от сжигания кавитированного антрацита характеризуется дальнейшим уменьшением содержания остатков сгорания антрацита до 5–10 %, что может расцениваться, как более качественное сгорание. В пробе наблюдается большое количество силикатных шлаковых частиц, которые имеют преимущественно пузырьчатые формы, т. е. представляют очень легкие воздушные шарики. Кроме того, в золе отмечается присутствие частиц оксида железа – гематита (рис. ЗАК-д) и восстановленного металлического железа в виде тонкой вкрапленности в стекле (рис. ЗАК-е). Крупная фракция частиц золы представлена преимущественно частицами шлака сложного пузырьчатого строения и частицами несгоревшего антрацита (около 20–30 %). По сравнению с мелкой фракцией наблюдается увеличение количества остатков антрацита, что подтверждает общую тенденцию – плохого сгорания крупных частиц антрацита.

Проба ЗУ – зола от сжигания угля Беловского разреза представлена шлаком – 85–90 % (рис. ЗУ-а) и частицами остатков сгорания бурого угля – 10–15 %. В крупной фракции золы содержание несгоревших остатков угля не превышает 20 %. По сравнению с золой из антрацита уголь Беловского разреза сгорает лучше. В шлаке отмечаются примеси металлического железа (рис. ЗУ-б).

Проба ЗУД – зола после сжигания дезинтегрированного угля Беловского разреза характеризуется высокой степенью сгорания и образованием хорошо оформленных шарообразных высокопористых частиц шлака (рис. ЗУД-в). Количество шлака достигает 97–98 %, около 2–3 % составляют частицы силикатов, железа и гематита (рис. ЗУД-г).

Проба ЗУК – зола от сжигания угля Беловского разреза после кавитации представлена почти чистым шлаковым материалом (98 %) мелкопористого строения, с примесью металлического железа, без остатков сгорания. Крупная фракция золоотходов представляет частицы шлака различной структуры (рис. ЗУК-д). Преобладают пузырьчатые шарообразные частицы, всплывающие в эпоксидной смоле (90–80 %) (рис. ЗУК-е). Тяжелые частицы составляют 10–20 %. Остатков сгорания угля не наблюдается, т. е. уголь сгорает полностью.

Анализ полученных результатов показывает, что при сжигании как антрацита, так и угля Беловского разреза, более интенсивные процессы горения идут в пробах углей, подвергнутых дополнительной обработке путем

дезинтегрирования и кавитирования. Наилучшие результаты отмечаются при горении кавитированного угля Беловского разреза, имеющего повышенное содержание мелких частиц. При кавитационной обработке исходного угля в золоотходах образуется большое количество мелких шарообразных легких пузырьков, что является характерным отличием золы от сжигания ВУТ и делает ее особенно ценной при использовании в качестве микронаполнителя в легких бетонах.

Таким образом, с помощью методов рудной микроскопии можно с большой степенью достоверности определять рациональную технологию подготовки сырья и прогнозировать свойства полученных материалов.

Библиографический список

1. Производство и использование водоугольного топлива / В. Е. Зайденварг, К. Н. Трубецкой, В. И. Мурко [и др.]. – М. : Изд-во академии горных наук, 2001. – 176 с.
2. Использование механоактивированных углей микропомола в энергетике / А. П. Бурдуков, В. И. Попов, В. А. Фалеев, Т. С. Юсупов // Ползуновский вестник. – 2010. – № 1. – С. 93–98.
3. К проблеме утилизации золоотходов от сжигания водоугольного топлива / О. Н. Крашенинников, Т. П. Белогурова, Л. И. Мальцев [и др.] // Строительные материалы. – 2010. – № 11. – С. 10–11.
4. Исследование золоотходов от сжигания водоугольного топлива в качестве компонента бетона / О. Н. Крашенинников, Т. П. Белогурова, Л. И. Мальцев // Экология промышленного производства. – Вып. 1 (81). – М. : ФГУП "ВИМИ", 2013. – С. 49–57.
5. Белогурова, Т. П., Миханошина И. А. Влияние способа измельчения угля на структуру и свойства водоугольного топлива // Наука и образование в Арктическом регионе: мат. Междунар. научно-практ. конф. – Мурманск : ФГБОУ ВПО "МГТУ", 2016. – С. 56–60. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.mstu.edu.ru/science/actions/conferences/files/25-02-2016-10.pdf> (дата обращения: 13.03.2017).
6. Гинзбрук, А. И. Методы минералогических исследований : справочник / под ред. А. И. Гинзбрука. – М. : Недра, 1985. – 480 с.
7. Диагностические свойства рудных минералов / С. А. Юшко, О. Е. Юшко-Захарова, С. И. Лебедева [и др.]. – М. : Недра, 1975. – 285 с.
8. Нерадовский, Ю. Н. Рудная минераграфия : учеб. пособие. – Мурманск : МГТУ, 2009. – 84 с.

Особенности функционирования ориентированных стружечных плит в обшивках крыш и стен

Гаврилов Т. А., Колесников Г. Н. (*г. Петрозаводск, Петрозаводский государственный университет, Институт лесных, горных и строительных наук*)

Аннотация. Рассмотрено применение ориентированной стружечной плиты в обшивке скатных крыш и вертикальных стен. С применением конечно-элементной модели исследованы особенности распределения прогибов пластин и напряжений в их материале. Эти особенности объясняются влиянием толщины пластины и тангенциальной составляющей вертикальной нагрузки на поверхность плиты.

Annotation. The application of oriented strand board (OSB) in the sheathings of pitched roofs and vertical walls is considered. With the application of the finite-element model, the features in the distribution of deflection of plates and stresses in their material are investigated. These features are explained by the influence of the thickness of the plate and the tangential component of the vertical load.

Ключевые слова: ориентированная стружечная плита (OSB), наклонная плита, вертикальная нагрузка, неравномерность распределения прогибов и напряжений.

Key words: oriented strand board (OSB), inclined plate, vertical load, irregular distribution of deflections and stress.

Древесина, являясь природным полимером, была и остается одним из главных факторов развития цивилизации. История показывает, что целям устойчивого развития отвечает совершенствование технологий рационального использования древесины, ориентированных на уменьшение количества отходов переработки древесины. Современное производство ориентированных стружечных плит является одним из результатов развития технологий переработки древесины.

Ориентированная стружечная плита, известная также как OSB (Oriented Strand Board), состоит из трех слоев, сформированных из ленточных частиц стружки. Во внешних слоях стружка ориентирована по длине плиты. В среднем слое стружка ориентирована поперек плиты. Частицы стружки склеены специальной связующей смолой. Тем самым эффективно используются свойства древесины как анизотропного материала [1]. Структурой и физико-механическими свойствами материала плит можно управлять, оптимизируя, например, толщину слоев плиты, размеры частиц стружки [1], а также используя модификаторы клеевых композиций [6].

Не останавливаясь на деталях, отметим, что плитам OSB предшествовало появление древесно-стружечных плит (ДССтП), для изготовления которых использовались частицы стружки приблизительно квадратной в плане формы с неориентированным расположением в плите, что не позволяло эффективно использовать природную анизотропию механических свойств древесины в целях повышения жесткости и прочности плит. Преимущественная ориентация частиц в плитах OSB по направлению действия главных напряжений позволяет уменьшить толщину плиты за счет повышения жесткости и прочности [1]. Плиты могут толщину от 6 до 32 мм. Области использования плит: обшивка крыш [6], обшивка стен, плиты типа "сэндвич", конструкции полов, элементы двутавровых деревянных балок и т. д. В России выпуск и применение плит OSB, по информации на 2016 г., демонстрируют высокие темпы роста [5].

Вопросы производства и применения рассматриваемых плит исследованы в ряде работ, например, [1–6, 8, 9]. Результаты исследований обобщены в стандартах EN 300, EN 310 и др. В данной работе рассматривается прикладная задача о влиянии угла наклона ориентированных стружечных плит в обшивке крыши на их деформированное состояние и распределение напряжений. Данная задача является частью общей многоплановой проблемы рационального природопользования. Актуальность данной задачи объясняется необходимостью экономически эффективного и экологически безопасного использования древесины в современном домостроении, что в условиях современной России соответствует Стратегии развития промышленности строительных материалов на период до 2020 г. и дальнейшую перспективу до 2030 г. (утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 10 мая 2016 г. № 868-р). Перейдем к техническим аспектам рассматриваемой задачи.

Экспериментальными и теоретическими исследованиями [1] установлено, что материал стружечных плит с ориентированными частицами можно считать ортотропным материалом. Модули упругости в продольном и поперечном направлениях плит определяются по методике EN 310 и согласно EN 300 должны иметь значения, соответственно, не менее 3 500 и 1 400 МПа.

Известны аналитические и численные методы расчета рассматриваемых плит. В настоящее время при решении инженерных задач используется, как правило, метод конечных элементов (FEM) [7].

Рассмотрим два примера. Исходные данные для расчета плиты OSB: размеры 1 250×625×12 мм; длинные края плиты неподвижно закреплены

по площадкам $1\,250 \times 20$ мм; материал данной плиты принят ортотропным, модули упругости 3 500 МПа и 1 400 МПа, коэффициент Пуассона 0,23. На плиту действует вертикальная нагрузка интенсивностью $3,0 \text{ кН/м}^2$, равномерно распределенная по поверхности плиты. В данной работе частично представлены результаты численного (FEM) моделирования прогибов плиты OSB при углах наклона к горизонтальной плоскости 0° (рис. 1) и 60° (рис. 2).

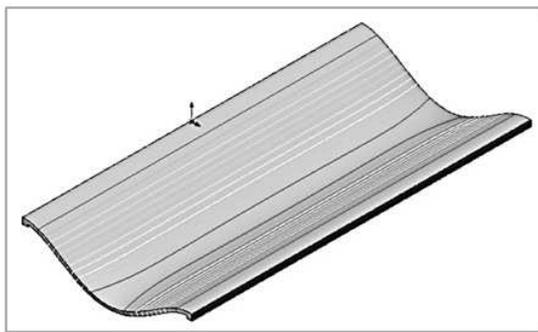


Рисунок 1 – Горизонтальная плита

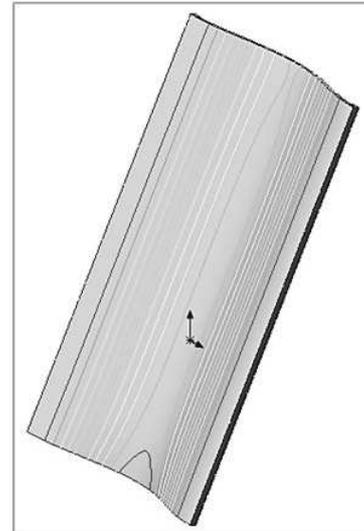


Рисунок 2 – Наклонная плита

Для горизонтальной плиты (рис. 1) наибольший прогиб 2,279 мм, имеет место в торцах плиты, в точках посередине ширины плиты, т. е. проявляется краевой эффект. Деформации левого и правого торцов плиты симметричны.

Для наклонной плиты (рис. 2) наибольший прогиб 1,237 мм, имеет место в нижнем торце плиты, в точке посередине ширины плиты, т. е. проявляется краевой эффект. Однако, в отличие от горизонтальной плиты, нижний торец наклонной плиты по рис. 2 деформируются в большей мере по сравнению с верхним торцом плиты.

Эти особенности деформации плиты объясняются тем, что при вертикальных внешних силах от снега на поверхности наклонной плиты появляется касательная составляющая каждой из этих сил. Плита не является бесконечно тонкой. Поэтому касательная составляющая, действующая на поверхность плиты, служит причиной появления изгибающего момента, вызывающего увеличение прогибов нижнего торца плиты и уменьшение прогибов верхнего торца плиты.

Касаясь практического значения представленных результатов, заметим следующее. Обшивка крыши выполняется из отдельных плит определенных размеров, поэтому необходимы стыковые соединения плит друг с другом.

При этом нижний торец верхней плиты контактирует с верхним торцом нижней плиты. Длинные (боковые) края плит неподвижно закреплены по указанным выше площадкам $1\ 250 \times 20$ мм, поэтому стык торцов плит на этих площадках близок к идеальной схеме. Однако в средней части пролета плит максимальный прогиб нижнего торца существенно больше максимального прогиба верхнего торца плиты (рис. 2).

Стык нижней и верхней плит, вид сбоку, показан на рис. 3. Максимальные прогибы в торцах стыкуемых наклонных плит (рис. 3) различаются тем больше, чем больше угол наклона плит. Это означает, что в такой обшивке будут иметь место неровности в средней части пролета плит, что может послужить причиной повреждения, например, мягкой кровли [6]. Чтобы устранить причину появления этих неровностей, необходимо увеличить жесткость нижнего торца верхней плиты, для чего следует установить ребро жесткости. Форма и размеры ребра жесткости должны назначаться с учетом особенностей технологии изготовления, упаковки, транспортировки, монтажа и условий функционирования плиты как элемента обшивки ограждающей строительной конструкции.

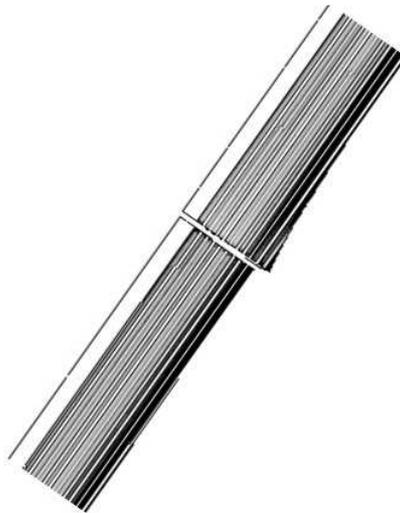


Рисунок 3 – Неидеальный стык наклонных плит при вертикальной нагрузке

Для сравнения, на рис. 4 показан стык горизонтальных плит при такой же вертикальной нагрузке.



Рисунок 4 – Почти идеальный стык горизонтальных плит

Сделанный выше вывод о необходимости ребра жесткости в нижней части наклонной плиты подтверждается анализом распределения напряжений. В нижней части наклонной плиты напряжения больше, чем в верхней части плиты (рис. 5). Максимум напряжений по Мизесу равен 2,189 МПа, имеет место в нижнем торце плиты, в середине пролета.

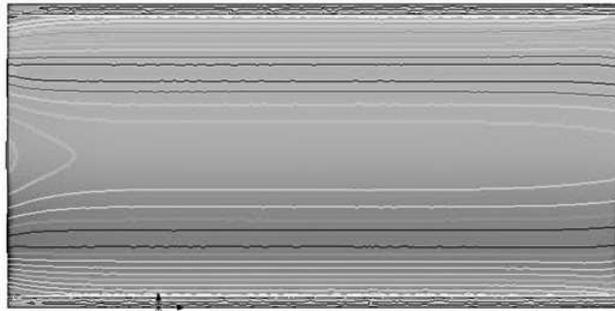


Рисунок 5 – Распределение напряжений по Мизесу в наклонной плите

Как отмечено выше, максимальные прогибы в торцах стыкуемых наклонных плит (рис. 3) различаются тем больше, чем больше угол наклона плит. Аналогичные особенности распределения напряжений и деформаций имеют место и в вертикальной плите при вертикальной нагрузке, распределенной по одной из поверхностей плиты.

Библиографический список

1. Анизотропия древесностружечных плит с ориентированными частицами и методы ее исследования / Броун В. И., Ашкенази Е. К., Клар Г. В., Тюрикова Л. И., Егерь И. В., Огарков Б. И. // Древесина и древесные материалы. Красноярск, 1974. С. 138–162.
2. Леонович А А. Новые древесноплитные материалы. СПб : Изд-во Химиздат, 2008. 158 с.
3. Яшин М. OSB: История появления и развития технологии // ЛесПромИнформ. 2006. № 2 (33). URL: <http://www.lesprominform.ru/>
4. Яшин М. OSB: История появления и развития технологии. Ч. 2 // ЛесПромИнформ. 2006. № 3 (34). URL: <http://www.lesprominform.ru/>
5. Никольская В. Российский рынок OSB ориентирован на рост // ЛесПромИнформ. – 2016. – № 2 (116). URL: <http://www.lesprominform.ru/>
6. ГордееваТ. Е., Безгина Л. Н. Об использовании ориентированно-стружечной плиты в составе кровли из мягкой черепицы // Промышленное и гражданское строительство. 2014. № 3. С. 73–76.

7. Численные и аналитические методы расчета строительных конструкций : монография / А. Б. Золотов [и др.]. М. : МГСУ : Изд-во АСВ, 2009. 336 с.

8. ZerbeJohn I.; Cai, Zhiyong; Harpole, George B. 2015. An evolutionary history of oriented strandboard (OSB). General Technical Report FPL-GTR-236. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 6 p. www.fpl.fs.fed.us (cited: March 19, 2017).

9. Pitukhin A. V., Kolesnikov G. N., Panov N. G., Vasilyev S. B. Amorphous silica micro powder additive influence on bending strength of one-ply particle board // Key Engineering Materials. 2016. V. 706. P. 82–85. DOI: 10.4028/www.scientific.net/KEM.706.82.

Актуальность применения древесины как строительного материала в современных условиях производства

Глушко Е. Н. (*г. Мурманск, ФГБОУ ВО "Мурманский государственный технический университет", кафедра промышленного и гражданского строительства*)

Abstract. By one of priority directions of development of economy of our country it is connected with introduction of new effective building materials and products which should differ profitability and high operational properties. Wood and wood composites concerns such materials. Now, active workings out on increase of their durability are conducted.

Лигноцеллюлозные элементы выполняют роль природных нанотрубок и нанофибрилл в древесине – одном из древнейших конструкционных материалов. Использовать в качестве электронных лигноцеллюлозных приборов, как активных, так и пассивных сенсоров, осуществляющих мониторинг структурных нагрузок, температуры, влажности, теплового режима работы приборов, дает возможность модификация поверхности лигноцеллюлозных волокон.

Для возведения высококачественного и комфортного жилья и объектов инфраструктуры на основе натуральной древесины образован нанокомпозит. На 60 % состоит из микро- и макропор, покрытых наноразмерной полимерной пленкой. После глубокой вакуумной сушки и пропитки древесины водным раствором наноразмерных природных компонентов с последующей их моно- и полимолекулярной адсорбцией на поверхности, клееные деревянные конструкции (КДК) в дополнение к уникальным природным характеристикам древесины имеют не присущие ей при обычной обработке свойства:

- сохранение в КДК после нанообработки экологических свойств древесины;
- повышенную прочность, антипиреновые, антисептические и гидрофобные свойства;
- высокий уровень энергосбережения зданий с использованием нанокомпозитных КДК;
- проведение всего цикла строительных, монтажных и отделочных работ за 2–3 месяца при возведении коттеджей, дошкольных учреждений, спортивных и выставочных комплексов, промышленных зданий;

- снижение стоимости строительства 1 м² более чем в два раза за счет;
- снижения себестоимости стенового бруса на 25 % и сокращению затрат на ремонтные работы;

Это расширяет нишу их применения в качестве несущих конструкций объектов, обеспечивающих повышение сейсмостойкости и возможность эксплуатации в агрессивной среде в малоэтажном домостроении.

Целлюлоза, как природный наноструктурированный материал, в последние годы стала центром научных технических разработок во всем мире, поскольку целлюлозосодержащий материал может рассматриваться в качестве потенциального сырьевого источника для производства наноразмерных целлюлозных структур.

НОД – это нанотехнология обработки древесины, предполагает глубокую вакуумную сушку и пропитку древесины водным раствором наноразмерных веществ с последующей адсорбцией на поверхностях пор древесины путём физико-химического структурирования нано плёнки нерастворимых кристаллов в составе пропиточного раствора.

Нанодревесина приобретает характерные изменения свойств за счёт образования внутри тела нано размерной структуры кристаллической плёнки, сополимеризованной с поверхностями клеток:

- предотвращает поступление кислорода к поверхностям и в клеточную структуру древесины, повышает огнестойкость и грибостойкость;
- уменьшение водо- и газопроницаемости и водопоглощения на уровне микро и макро пор даёт свойство гидрофобности;
- при удалении связанной влаги в конечной стадии нанообработки, приобретает отсутствие усыхания или разбухания тела от влаги;
- усиление стенок микро и макро пор даёт увеличение прочности до 15 %;
- до 35 % увеличивается плотность за счёт массы (нерастворимая часть) пропиточного раствора;

За счет применения ряда процессов: химического восстановления; термолиза; фотолиза; радиационной химии; обработки высоким давлением и вакуумом осуществляется синтез наноразмерных частиц.

Для стабилизации процесса синтеза используются наностабилизирующие материалы: водно-органические эмульсии; твердые матрицы; растворы макромолекул.

Легко доступный природный полимер – Арабиногалактан (Е-409), входит в состав древесины Сибирской лиственницы (до 15 % от веса массы).

Свойство АГ создавать полимерную матрицу с неорганическим ядром, а так же высокая текучесть идеально служат для проникновения через мембрану растительных клеток и в микро и макропоры. Образует соединения с нерастворимыми молекулами металлов и оксидов и благодаря низкой вязкости и высокой клейкости концентрированных растворов, используется:

- в лакокрасочной промышленности как стабилизатор эмульсий и красок;
- в строительстве и металлургии в качестве поверхностно-активного вещества;

Оптическая активность, особенности надмолекулярной структуры, обилие гидроксильных групп, стабилизирующий эффект полимерной молекулы обеспечивают АГ применение для получения универсальных антимикробных препаратов.

В нанобработке натуральной древесины АГ используется:

- для адсорбции и структурирования компонентов, формирования процесса образования нанодревесины;
- как биологически активный агент пропитывающих составов для стимулирования и ускорения процесса;
- как восстановитель для синтеза наноразмерных металлических или оксидных соединений и наностабилизирующей матрицы.

Нанобработка натуральной древесины отличается более глубоким и равномерным распределением пропитывающих составов за счёт эффекта вакуумного "вдавливания" раствора внутрь пористого тела древесины, с последующей адсорбцией и равномерным образованием нано размерной плёнки на поверхностях микро и макро пор. Применение АГ фиксирует нерастворимую нанокомпозитную плёнку в микро и макро порах древесины, приводит к образованию сложных компонентов с собственной целлюлозой и легнином, ускоряет глубокое проникновение раствора через поры древесины, что обеспечивает эффект её био- и огнезащиты на весь срок службы древесины, делают ее более прочной и надежно защищают от гниения, разрушения, плесени, грибка и древесных насекомых, предотвращает свободное проникновение влаги и пара внутрь тела древесины, приводит к отсутствию разбухания и изменению геометрических размеров древесины, трещинообразования, к уменьшению коэффициентов усыхания.

На практике в промышленных масштабах реализуются технологии производства нового экологически чистого строительного материала нанокомпозита древесины.

Использование арабиногалактана из древесины лиственницы как перспективного сырья для производства крупнотоннажных продуктов (связующие композиционных материалов, плит и др.), а также малотоннажных продуктов с высокой добавленной стоимостью являются основными проблемами разработок распределения арабиногалактана в морфологической структуре и наноструктуре древесины. Водные растворы АГ создают на наноуровне взаимопроникающую полимерную сетку (ВПС) с другими полимерными компонентами древесины, выступают в роли "полимерного пластификатора", своеобразного антифриза, обеспечивают морозостойкость лиственницы, снижение температуры хрупкости древесины.

При введении в имеющиеся каналы структуры древесины под определенным давлением нанокристаллической целлюлозы, древесина приобретает такую же твердость, как у нелегированной стали, перестает набухать в воде, изменять объем.

Эффективна такая обработка для древесины мягких и недорогих пород для изготовления паркета, узлов трения конвейеров, транспортеров, насосов.

Для изготовления арболита, фибролита, цементно-стружечных плит, стружкобетона и других материалов строительного назначения применяют низкосортную и некондиционную древесину, дровяное долготье, тонкомер, срезки, щепу, стружку, опилки, а также отходы сельскохозяйственного и бумажного производств. В качестве минерального вяжущего применяют портландцемент, гипс, магнезиальное вяжущее, жидкое стекло и др.

Органополимерные материалы, сочетают высокие физико-механические и эксплуатационные свойства органических и неорганических полимеров. Использование наноматериалов (нанодобавок) способствуют повышению прочности и водостойкости поливинилацетатных клеев. Требуются мягкие отходы лесопиления и деревообработки – опилки для наполнителя из крупных и мелких фракций. Изготовление композиционного теплоизоляционного материала не требует сложного дорогостоящего оборудования и может быть сравнительно легко организовано на деревообрабатывающем предприятии.

Возрастает роль растительного сырья как сырьевого источника для химической модификации по использованию гидрогелей нанокристаллической целлюлозы в качестве связующего компонента в клеевых композиционных составах при производстве древеснослоистых пластиков (фанеры). С целью увеличения механических показателей, как жесткость при изгибе и прочность клеевого шва при намокании, гидрогель нанокристаллической

целлюлозы (НКЦ) использовался для частичной замены токсичной карбамидоформальдегидной смолы.

Микроволокно целлюлозы рассматривается как связанные кристаллы целлюлозы, расположенные вдоль оси микроволокна беспорядочными аморфными доменами более низкой плотности по сравнению с нанокристаллическими доменами и подвержены кислотному гидролизу (их удаляют при контролируемых условиях).

Для получения водных дисперсий нанокристаллической целлюлозы (НКЦ) и нанофибриллярной целлюлозы (НФЦ) проводили поэтапную деполимеризацию исходного целлюлозосодержащего материала.

Наноразмерные структуры имеют высокие физикомеханические характеристики с высокой химической стабильностью.

Целлюлозный наноматериал стоит в 10–100 раз дешевле углеродных нанотрубок.

Использование специальных покрытий, лакокрасочных и строительных материалов становятся одними из основных направлений использования нанотехнологий и создания наноматериалов.

При термообработке происходят значительные изменения в физической и химической структуре древесины. Термомодификация (воздействие пара, температуры и вакуума без применения химических реактивов или пропиток) – экологически чистый процесс. При термообработке при температуре до 240–250 °С целлюлоза незначительно разрушается, степень её полимеризации уменьшается, удаляется связанная вода, оксид и диоксид углерода. Древесина значительно утрачивает способность к впитыванию влаги. Неуглеводным полимером лигнином и гемицеллюлозами заполнены пространства между целлюлозными микрофибриллами. Лигнин обладает высокой прочностью, на сжатие – соответствует бетону, придаёт прочность и жесткость клеточной стенке. Целлюлоза по своим свойствам соответствует арматуре.

После обработки от 200 до 260 °С остается небольшая часть гемицеллюлозы, что повышает устойчивость к разрушению древесины под воздействием грибка. С увеличением температуры более 200 °С количество лигнина заметно возрастает, достигая 33,0–36,0 %, поэтому древесина практически не теряет своих прочностных качеств в процессе термообработки. Снимается внутреннее давление древесины, содержание смол при соответствующей термообработке, поэтому не происходит деформаций с термомодифициро-

ванной древесиной, даже в местах расположения сучков нет особо выраженных трещин или задигов.

Производство термодревесины из быстрорастущих пород (береза, ель, осина, сосна) относится к числу инновационных.

Кривая, асимптотически приближающаяся к прямой, соответствующей напряжению, называемому пределом долговременного сопротивления, показывает изменения прочности древесины в зависимости от времени действия нагрузки – предел долговременного сопротивления, который составляет примерно 0,5–0,6 величины предела прочности при кратковременных статических испытаниях.

Устанавливать предел прочности при заданной продолжительности нагрузки по формуле $\sigma_t = \sigma_{ст} + \alpha(\lg t_{ст} - \lg t)$ предложил Леонтьев Н. Л.

где σ_t – предел прочности при данной продолжительности действия нагрузки;

МПа, $\sigma_{ст}$ – предел прочности при стандартных испытаниях, МПа;

$t_{ст}$ – время, потребное для разрушения образца при стандартных испытаниях;

α – поправочное число, МПа.

Снижение прочности древесины при длительном действии нагрузки так же объясняет кинетическая теория прочности твердых тел, разработанная академиком С.Н. Журковым и его последователями.

Выявлены термофлуктуационные закономерности разрушения и деформирования древесины при разных видах нагружения до и после модификации и физико-химического воздействия, уточнена методика Ю. М. Иванова для прогнозирования долговечности и длительной прочности древесины.

Большая база испытаний при переменных нагрузках, низкочастотных механических воздействиях в древесине выявляет необратимые остаточные деформации, вызванные повреждениями на молекулярном уровне и приводящих к разрушению.

С повышением частоты колебаний до 100 Гц предел выносливости увеличивался.

По удельной прочности древесина конкурентоспособна с другими современными материалами, а по удельной жесткости (вдоль волокон) во много раз превосходит полимеры.

По данным А. С. Фрейдина, наименьшее влияние на сопротивление древесины сжатию оказывает гамма-облучение. Снижается прочность на скалы-

вание и еще сильнее – на изгиб. Прочность снижается вдвое при дозе облучения в 100 Мрад (мегарад – 10 кДж/кг). Стерилизации древесины смертельной дозой для грибов и насекомых 1 Мрад практически не снижает ее механические свойства.

Прочность древесины лиственных пород снижается больше под влиянием кислот и щелочей чем хвойных. Смолистость уменьшает вредное влияние газов SO₂, SO₃, NO, NO₂.

С. И. Ванин выявил снижение прочности при растяжении вдоль волокон на 40–60 %, при статическом изгибе на 60–70 % у древесины, прослужившей в воде до 30 лет, что морская вода оказывает заметное влияние на прочность и ударную вязкость древесины.

Путём направленного изменения структуры и свойств древесины (например – модифицирование древесины) можно существенно повысить её прочность и разнообразить возможности применения в строительстве.

Библиографический список

1. Материалы Международного научно-практического семинара в рамках Международной специализированной выставки "Деревообработка". – Минск, 18.10.2010 г.

2. Умнякова, Н. П. Как сделать дом тёплым / Н. П. Умнякова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Стройиздат, 1996. – 368 с.

3. Барташевич, А. А. Новые подходы в технологии деревообработки на основе наноматериалов. Материалы МНТК "Новейшие достижения в области импортозамещения в химической промышленности и производстве строительных материалов" / А. А. Барташевич, Л. В. Игнатович, Е. В. Коробко. – Минск : БГТУ, 2012. – С. 140–143.

4. Борвонов, В. А. Технология стеновых изделий для малоэтажных зданий на основе арболита и вторичных продуктов производства: автореф. ... дис. канд. техн. наук: 05.23.05 / В. А. Борвонов ; Бел. нац. техн. ун-т. – Мн, 2004. – 21 с.

5. Теоретические предпосылки использования полиметаллического водного концентрата и тонкодисперсных минеральных добавок для минерализации древесных заполнителей в арболите: проблемы технологии производства строительных материалов, изделий и конструкций, строительства зданий и сооружений, подготовки инженерных кадров для строительной отрасли:

мат. VIII международного науч. практ. семинара, Мн., 15–16 ноября 2001 г. / Минск : БГТУ; редкол. : Э. И. Батяновский (отв. ред.) [и др.]. – Минск : Стринко, 2001. – С. 174–187.

6. Кудина, Е. Ф. Разработка органосиликатных связующих и гибридных наполнителей для композиционных материалов машиностроительного назначения : автореф. ... дис. канд. техн. наук: 05.02.01 / Е. Ф. Кудина ; НАН Белоруск. ин-т механики металлополимерных систем им. В.А. Белого. – Гомель, 2001. – 21 с.

7. Дубовская, Л. Ю. Теплоизоляционный материал на основе древесных отходов и минерального связующего / Л. Ю. Дубовская // Деревообрабатывающая промышленность. – 2005. – № 3. – С. 13–14.

8. Воронин, Б. Ю. Нанодревесина – нанокompозит древесины – инновационный строительный материал XXI в. – журнал.

9. Дубовская, Л. Ю. Определение биостойкости композиционных материалов на основе древесных опилок и модифицированного жидкого стекла / Л. Ю. Дубовская, Л.В. Игнатович, Л. М. Бахар // Устойчивое развитие лесов и рациональное использование лесных ресурсов : мат. междунар. науч.-практ. конф. / БГТУ : под ред. О. А. Атрощенко. – Минск, 2005. – С. 298–301.

10. Композиционный материал на минеральном вяжущем: пат. Респ. Беларусь / Л. Ю. Дубовская; заявитель УО "Белорусский государственный технологический университет". – № а 20050936; заявл. 20.09.2005; положительное решение 21.06.07.

11. Леонтьев, Н. Л. Техника испытаний древесины. – М., 1970; Справочное руководство по древесине, пер. с англ., – М., 1979.

12. Лесная энциклопедия : в 2 т. т. 2 / Гл. ред. Воробьев Г. И. ; Ред. кол. : Анучин Н. А., Атрохин В. Г., Виноградов В. Н. [и др.]. – М. : Сов. энциклопедия, 1986. – 631 с : ил.

Сравнительный анализ жесткостей железобетонной балки, найденных разными способами

Котов А. А. (г. Мурманск, ФГБОУ ВО "Мурманский государственный технический университет", кафедра промышленного и гражданского строительства)

Аннотация. Изгибная жесткость железобетонной балки, определяемая в разных ее состояниях и разных сечениях в соответствии с нормативом СП 63.13330.2012, сравнивается с ее жесткостью, вычисляемой по прогибам, найденным из расчета балки методом конечных элементов с применением комплекса SCAD. Установлено, что в большинстве случаев результаты двух методов получаются достаточно близкими.

Abstract. Flexural stiffness of reinforced concrete beams determined in different States and different sections in accordance with the standard SP 63.13330.2012, is compared to stiffness calculated by the deflection found from the calculation of a beam by finite element method using SCAD complex. It is established that in most cases the results of the two methods are quite close.

Ключевые слова: железобетонная балка, изгиб, жесткость, норматив, SCAD.

Key words: reinforced concrete beam, bending, hardness, norm, SCAD.

Для железобетонной балки в разных ее состояниях и разных сечениях изгибная жесткость может быть найдена разными способами. Номинальная, геометрическая изгибная жесткость балки без трещин, согласно нормативу [1], должна определяться в соответствии с расчетной схемой на рис. 1 по формуле (1).

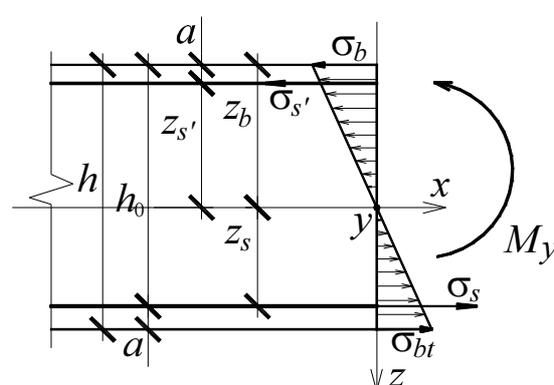
$$D = E_b \cdot I_{red}. \quad (1)$$


Рисунок 1 – Расчетная схема сечения без трещин

При этом бетон и металл считаются линейно упругими, и выполняется гипотеза плоских сечений по деформациям и для бетона, и для арматуры.

Здесь E_b – начальный модуль упругости бетона, а приведенный момент инерции железобетонного сечения без трещин находится по формуле

$$I_{red} = I + n(I_s + I'_s), \quad (2)$$

где I , I_s , I'_s – моменты инерции относительно нейтральной оси Oy соответственно площади сечения бетона, площади сечения растянутой арматуры A_s и площади сечения сжатой арматуры A'_s , а

$$n = E_s/E_b, \quad (3)$$

где E_s – модуль упругости стали. При этом положение нейтральной оси Oy , т. е. высота сжатой зоны z_b , определяются из условия равенства нулю продольного усилия, которое после преобразований приводит к результату

$$\zeta_b = \frac{1+v-\alpha(v-v')}{2+v+v'}, \quad (4)$$

здесь

$$\zeta_b = \frac{z_b}{h}; v = 2\mu n; v' = 2\mu' n; \mu = \frac{A_s}{bh}; \mu' = \frac{A'_s}{bh}; \alpha = \frac{a}{h}. \quad (5)$$

Для моментов инерции, входящих в формулу (2), в соответствии с расчетной схемой на рис. 1 справедливы следующие соотношения:

$$I = \frac{bh^3}{12} + bh \left(z_b - \frac{h}{2} \right)^2; I_s = A_s z_b^2; I'_s = A'_s (z_b - a)^2. \quad (6)$$

В качестве примера рассматривалась железобетонная балка, показанная на рис. 2. Бетон принят класса В25, арматура продольная нижняя – 2Ø16 А-400, продольная верхняя – 2Ø8 А-400, поперечная – 2Ø6 А-240. Расстояние от внешней грани до центра тяжести арматуры принято 40 мм по каждой грани. Расчет балки по формулам (1)–(6) с исходными данными $E_b = 0,300 \cdot 10^5$ МПа, $E_s = 20,4 \cdot 10^6$ Т/м² привел к относительной высоте сжатой зоны $\zeta_b \equiv \frac{z_b}{h} = 0,505$ и номинальной изгибной жесткости $D = 0,944 \cdot 10^4$ Тм².

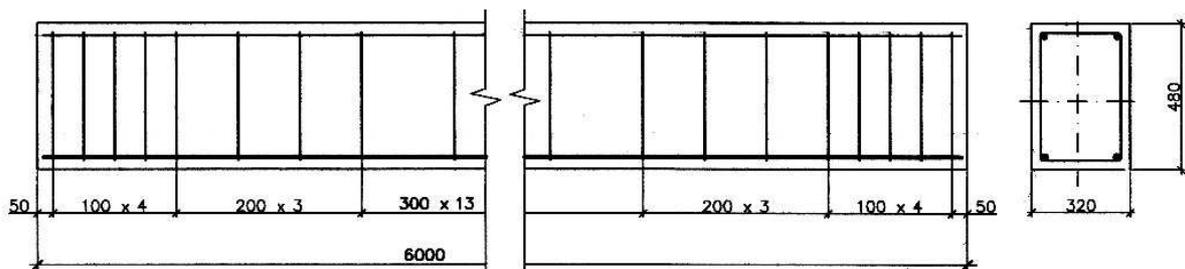


Рисунок 2 – Расчетный пример железобетонной балки

Чтобы иметь возможность оценивать изгибную жесткость железобетонной балки в ее эксплуатационном состоянии с трещинами какими-либо другими методами, кроме физически и геометрически линейного, нужно проверить, насколько эти иные методы совпадают по результатам с нормативно линейным в начальном состоянии балки без трещин. Так, при расчете железобетонных балок методом конечных элементов в настоящем цикле исследований [2–4] их жесткость оценивалась через кривизну κ :

$$D = M/\kappa, \quad (7)$$

которая, в свою очередь, определялась по прогибам в соответствии с расчетной схемой на рис. 3 и формулой (8).

$$\kappa = \frac{2f}{\Delta^2 + f^2}. \quad (8)$$

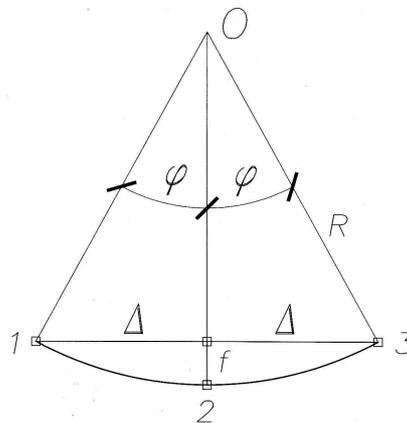


Рисунок 3 – Расчетная схема для определения кривизны по прогибам

Для балки на рис. 2 такой конечноэлементный расчет был реализован в двух вариантах. Если балку рассматривать как свободно опертую на стену из кирпичной кладки высотой 3 м, глубиной опирания 150 мм, и рассматривать эту опору как упругое, податливое основание, то расчет дает изгибную жесткость $1,012 \cdot 10^4$ Тм², что примерно на 7 % больше номинальной геометрической. Если же опору моделировать как жесткую точечную, расположенную в центре тяжести треугольной эпюры опорных напряжений, как это делается в классических методах определения перемещений, то в SCAD получается жесткость $0,935 \cdot 10^4$ Тм², что практически совпадает (примерно на 1 % меньше) с геометрической жесткостью $0,944 \cdot 10^4$ Тм². Поскольку упруго податливая модель опоры, рассмотренная в первом варианте, больше соответствует действительности, чем абсолютно жесткая точечная опора, то из приведенного сравнения можно сделать вывод, что адекватные реальности конечноэлементные расчетные модели дают результаты более пра-

вильные, нежели модели классические, а соответствие между этими двумя подходами всегда может быть проверено путем огрубления конечноэлементной модели.

Образование поперечных трещин в железобетонной балке при эксплуатационных нагрузках в корне меняет расчетную схему этой конструкции, составленной из двух разнородных материалов. Локальная жесткость балки в сечении с трещиной существенно меньше ее номинальной, начальной жесткости. Определение жесткости в сечении с трещиной согласно нормативу [1] производится в соответствии с расчетной схемой на рис. 4 следующим образом.

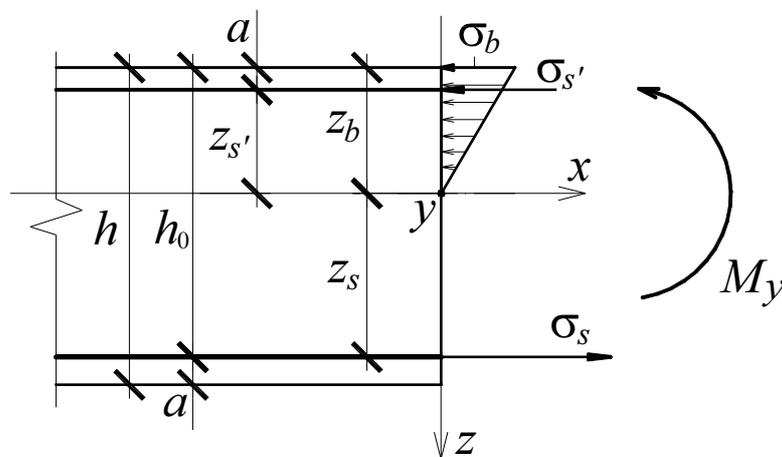


Рисунок 4 – Расчетная схема сечения с трещиной

Формулы (1)–(3), (5) остаются в силе, а первое из соотношений (6) принимает вид

$$I = \frac{1}{3} b z_b^3. \quad (9)$$

К ним добавляются уравнение равновесия по продольной силе

$$\sigma_s A_s = \frac{1}{2} \sigma_b z_b b + \sigma_{s'} A_{s'}, \quad (10)$$

и условия совместности деформаций бетона и арматуры, вытекающие из гипотезы плоских сечений по деформациям:

$$\frac{\varepsilon_s}{z_s} = \frac{\varepsilon_b}{z_b}; \quad \frac{\varepsilon_{s'}}{z_{s'}} = \frac{\varepsilon_b}{z_b}. \quad (11)$$

После несложных преобразований из (10) и (11) с помощью закона Гука получается формула для относительной высоты сжатой зоны

$$\zeta_b = \lambda \left\{ \sqrt{1 + \frac{2[\mu - \alpha(\mu - \mu')]}{\lambda(\mu + \mu')}} - 1 \right\}, \quad (12)$$

где

$$\lambda = n(\mu + \mu'). \quad (13)$$

Для рассматриваемого здесь примера железобетонной балки в сечении с трещиной получается $\zeta_b = 0,162$, $D = 0,126 \cdot 10^4 \text{ Тм}^2$.

Жесткость этого же сечения с трещиной, определенная по прогибам из расчета балки МКЭ на базе 150 мм, составила $0,104 \cdot 10^4 \text{ Тм}^2$, т. е. примерно на 17 % меньше. Такое расхождение в результатах, полученных двумя разными методами, объясняется тем, что гипотеза плоских сечений по деформациям для сжатого бетона и растянутой арматуры, используемая согласно предписанию норматива [1] для определения геометрической жесткости и реализованная здесь в формуле (12), на самом деле не выполняется. Этот вывод следует из расчета балки методом конечных элементов с подробным моделированием процесса образования трещин и иллюстрируется эпюрой деформаций в сечении с трещиной, показанной на рис. 5.

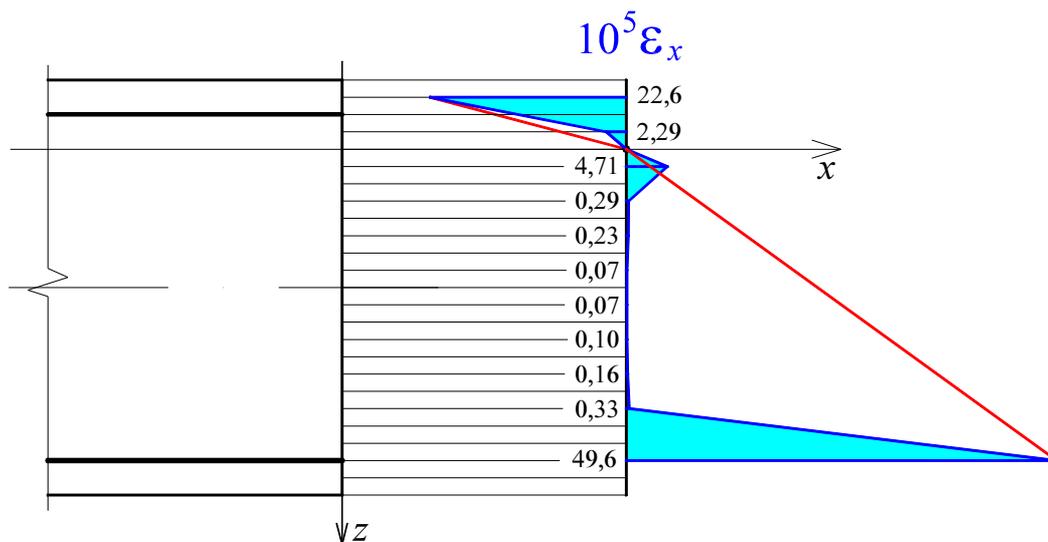


Рисунок 5 – Эпюра деформаций в сечении с трещиной

По эпюре деформаций на рис. 4 видно, что сжатый бетон деформируется сильнее, чем это обусловлено гипотезой плоских сечений. Вследствие этого реальная жесткость сечения с трещиной становится меньше номинальной геометрической, т. е. расчет жесткости сечения с трещиной по нормативу [1] дает завышенные результаты. При этом относительная высота сжатой зоны в расчете МКЭ составила $1/6 \approx 0,17$ (с точностью ее определения $1/24 = 0,04$, обусловленной размером конечного элемента), т. е. практически совпала с нормативным результатом 0,164.

Интегральная жесткость железобетонной балки с трещинами согласно предписаниям норматива [1] определяется на тех же расчетных основаниях, что и для сечения с трещинами, т. е. как бы для конструкции, состоящей из сжатого бетона и растянутой арматуры. Однако при этом с целью учета работы растянутого бетона между трещинами номинальный модуль упругости растянутой арматуры увеличивается путем его деления на так называемый коэффициент неравномерности ψ_s :

$$E_{s,red} = \frac{E_s}{\psi_s}. \quad (14)$$

Коэффициент ψ_s по характеру своего определения должен быть не больше единицы:

$$\psi_s = 1 - 0,8 \frac{M_{crc}}{M}. \quad (15)$$

Здесь M_{crc} – изгибающий момент, соответствующий началу процесса образования трещин, M – текущее значение изгибающего момента. Для примера балки, рассматриваемого в настоящей работе, было получено $M_{crc} = 2,52$ Тм (по СП [1]), $M = 7,535$ Тм, $\psi_s = 0,732$. При последующих расчетах по СП это привело к результатам $\zeta_b = 0,598$ и $D = 3,56 \cdot 10^3$ Тм². Как можно заметить, относительная высота интегральной сжатой зоны по сравнению со сжатой зоной в сечении с трещиной значительно увеличилась: с 0,164 в трещине до 0,598 в интегральной оценке. Это говорит о том, что растянутый бетон между трещинами, по мнению авторов СП, играет существенную роль. Интегральная жесткость балки, определенная по СП, также заметно превышает ее жесткость в сечении с трещиной: $3,56 \cdot 10^3$ Тм² против $1,26 \cdot 10^3$ Тм²; это также свидетельствует о существенном вкладе растянутого бетона.

Однако гораздо интереснее интегральную жесткость железобетонной балки с трещинами сравнивать с ее исходной жесткостью в состоянии без трещин, поскольку именно это сравнение должно отвечать на вопрос, какую именно жесткость изгибаемых железобетонных элементов следует учитывать в конечноэлементных расчетных моделях сооружений. Здесь для балки без трещин было получено $D_0 = 9,44 \cdot 10^3$ Тм²; следовательно, относительная интегральная жесткость по нормативным расчетам имеет величину $3,56 / 9,44 = 0,38$, и в расчетных моделях сооружений исходную жесткость железобетонных балок следует учитывать именно с этим понижающим коэффициентом.

В расчетах виртуальной балки без трещин под нагрузками, при которых в реальной ситуации эти трещины должны были бы быть, получено [3], что ее прогибы примерно в 3,5 раза меньше, чем в реальной балке с трещинами. Следовательно, интегральная жесткость балки с трещинами по результатам конечноэлементного расчета в 3,5 раза меньше ее исходной жесткости в состоянии без трещин. Это дает переходный коэффициент от номинальной жесткости к интегральной $1 / 3,5 = 0,29$. Таким образом, определение интегральной изгибной жесткости балки с трещинами приводит к результату, который существенно меньше, чем тот, который получается в соответствии с методикой норматива СП 63.13330.2012: 0,29 против 0,38. Если принять во внимание, что в предыдущих двух сравнениях было констатировано, что метод конечных элементов ближе к реальности, нежели методы, заложенные в СП, то и здесь результат нормативного определения относительной жесткости можно подвергать сомнению. Так или иначе, вопрос об интегральной жесткости железобетонных балок с трещинами продолжает оставаться актуальным.

Библиографический список

1. СП 63.13330.2012 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003. – М. : ФАУ "ФЦС", 2012. – 155 с.
2. Котов, А. А. Влияние первой трещины на жесткость железобетонного изгибаемого элемента / А. А. Котов. // Строительная механика и расчет сооружений", 2014. – № 4 (255). – С. 48–53. – М. : ОАО "НИЦ "Строительство", 2014.
3. Котов, А. А. Жесткость железобетонного изгибаемого элемента в процессе его эксплуатации с трещинами / А. А. Котов. – Наука и образование в арктическом регионе : мат. Междунар. науч.-практич. конф., Мурманск, 6–9 апреля 2015 г. – Мурманск : МГТУ, 2015.
4. Котов, А. А. Исследование железобетонной балки методом конечных элементов / А. А. Котов // Вестник гражданских инженеров. – 2016. – № 5 (58). – С. 79–85. – СПб. : СПбГАСУ, 2016.

Вспененные теплоизоляционные материалы из техногенного сырья Мурманской области

Манакова Н. К., Суворова О. В. (*г. Апатиты, ФГБУН ИХТРЭМС КНЦ РАН, лаборатория минерального сырья и силикатного синтеза, e-mail: manakova@chemy.kolasc.net.ru*)

Аннотация. Рассмотрена возможность получения гранулированных и блочных вспененных материалов теплоизоляционного назначения из техногенного сырья Кольского полуострова. Разработаны составы и способы получения пеносиликатов, характеризующихся высокой прочностью при низких значениях плотности и теплопроводности.

Abstract. The possibility of receiving a granulated and block foam insulation from industrial wastes of the Kola Peninsula has been considered. Foam silicate compounds and procedures are proposed. The products are characterized by high strength at low values of density and thermal conductivity values.

Ключевые слова: теплоизоляционные материалы, пеносиликат, горнопромышленные отходы, микрокремнезем, апатито-нефелиновые отходы, диопсид, хвосты обогащения вермикулитовых руд.

Key words: heat-insulating, materials foam silicate, mining wastes, silica fume, apatite-nepheline wastes, diopside, wastes of enrichment of vermiculite ores.

Одним из перспективных направлений современных исследований, является разработка новых качественных теплоизоляционных материалов на основе промышленных отходов. В настоящее время повышенное внимание уделяется технологии пеносиликатных материалов – аналогов пеностекла. Для их получения используются различные виды кремнеземсодержащего сырья как природного, так и техногенного происхождения [1–7].

Для проведения исследований использовались:

1) Технологическая проба кремнеземсодержащего продукта, полученного при переработке апатито-нефелиновых руд с опытной установки “Глинозем” (ОАО “Апатит”). Продукт представляет собой тонкодисперсный порошок светло-серого цвета, в основном состоящий из аморфного кремнезема. Удельная поверхность материала, измеренная методом воздухопроницаемости, составляет $23\ 676\ \text{см}^2/\text{г}$, насыпная плотность – $287\ \text{кг}/\text{м}^3$.

2) Проба кремнеземсодержащего продукта, полученного при переработке эвдиалитовых руд и представляющего собой тонкодисперсный по-

рошок серо-белого цвета с удельной поверхностью $17\,157\text{ см}^2/\text{г}$ (после 2-х часового измельчения в барабане), насыпной плотностью $523\text{ кг}/\text{м}^3$.

3) Отходы обогащения апатито-нефелиновых руд с удельной поверхностью $4\,363\text{ см}^2/\text{г}$. Основным компонентом тонкодисперсных отходов является нефелин (55–65 мас.%).

4) Золошлаковая смесь Апатитской ТЭЦ с удельной поверхностью $4\,000\text{ см}^2/\text{г}$, насыпной плотностью $900\text{ кг}/\text{м}^3$.

5) Диопсид Ковдорского месторождения $4\,050\text{ см}^2/\text{г}$, насыпной плотностью $940\text{ кг}/\text{м}^3$.

6) Хвосты обогащения вермикулитовых руд $1\,512\text{ см}^2/\text{г}$ (г. Ковдор), насыпной плотностью $1\,090\text{ кг}/\text{м}^3$.

Ранее на основе отходов обогащения апатит-нефелиновых руд и стеклоотходов по одностадийной технологии был разработан эффективный пеностекольный материал. Технические характеристики полученного материала: плотность $200\text{--}410\text{ кг}/\text{м}^3$, теплопроводность $0.08\text{--}0.13\text{ Вт}/\text{м}\cdot\text{К}$, прочность до 1.9 МПа , водопоглощение до 3% [8]. Полученное пеностекло можно рекомендовать в качестве утеплителя помещений с повышенными требованиями к температурному и влажностному режимам: подвалов, саун, бассейнов, каминов, дымоходов и т. п.

Основываясь на разработанных технологических подходах в рамках научных исследований по пеностеклу, на основе микрокремнезема (продукта кислотной переработки нефелина) с добавлением отходов апатито-нефелиновых руд и золошлаковой смеси получен пористый зернистый материал, удовлетворяющий нормативным требованиям на материалы и изделия строительные теплоизоляционные (ГОСТ 16381-77). Коэффициент теплопроводности полученного материала $0,075\text{--}0,08\text{ Вт}/\text{м}\cdot\text{К}$, плотность $0.15\text{--}0.24\text{ г}/\text{см}^3$. Гранулированный материал может быть рекомендован для использования в качестве теплоизоляционных засыпок (утеплителя чердачных перекрытий, стен, кровли) [9].

Проведены исследования по изготовлению блочных теплоизоляционных материалов из кремнеземсодержащего сырья. Установлены оптимальные условия и определены составы для получения пеносиликатных материалов. Для придания прочности и снижения водопоглощения применялись добавки апатито-нефелиновых отходов, диопсида и хвостов обогащения вермикулитовых руд.

Исследования влияния диоксида на технические свойства пеносиликатов показали, что его введение приводит к увеличению прочностных характеристик в среднем в 2 раза при некотором увеличении плотности (0.55 г/см^3) пеносиликатов. При введении диоксида в количестве 30 % (сверх 100 %) прочность материала составляет 4.2 МПа.

Добавление измельченных хвостов обогащения вермикулитовых руд в количестве 25–30 % (сверх 100 %) позволяет получить пеносиликаты с равномерной пористой структурой и прочностью до 6 МПа. Однако плотность таких силикатов превышает $0,6 \text{ г/см}^3$, что может негативным образом повлиять на теплопроводность материала.

Вместе с тем замечено, что добавка измельченного диоксида и хвостов обогащения вермикулитовых руд способствует снижению водопоглощения готового материала в 2–3 раза.

Технические свойства блочных материалов, полученных при оптимальных условиях: плотность $0.3\text{--}0.55 \text{ г/см}^3$, прочность до 5 МПа, теплопроводность $0.09\text{--}0.107 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$. Пеносиликатные материалы можно рекомендовать для использования в качестве теплоизоляционных при строительстве и реконструкции промышленных и гражданских зданий и сооружений.

Разработанные вспененные теплоизоляционные материалы из горно-промышленных отходов Мурманской области представлены на рис. 1.

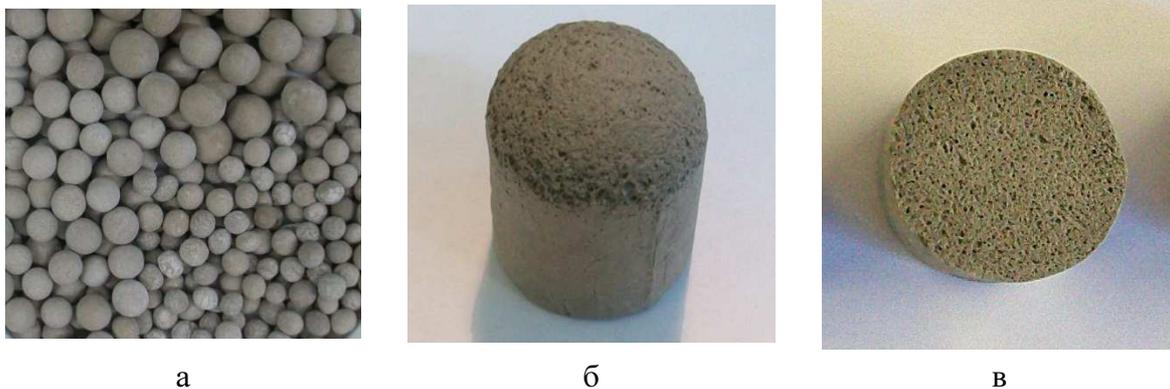


Рисунок 1 – Вспененные теплоизоляционные изделия на основе кремнеземсодержащего сырья: а – гранулированный материал; б, в – блочный материал

Таким образом, проведенные исследования показали возможность получения эффективных вспененных теплоизоляционных материалов на основе техногенного сырья Кольского полуострова.

Библиографический список

1. Кудяков А. И., Радина Т. Н., Иванов М. Ю. Зернистый теплоизоляционный материал на основе жидкого стекла из микрокремнезема и золы-уноса // Строительные ведомости. 2006. № 2 (32). С. 19–21.
2. Тихомирова И. Н., Скорина Т. В. Теплоизоляционные материалы на основе кремнеземсодержащего сырья // Строительные материалы. 2008. № 10. С. 58–60.
3. Кетов А. А. Получение строительных материалов из гидратированных полисиликатов // Строительные материалы. 2012. № 11. С. 22–24.
4. Казанцева Л. К., Стороженко Г. И., Никитин А. И., Киселев Г. А. Теплоизоляционный материал на основе опокового сырья // Строительные материалы. 2013. № 4. С. 1–4.
5. Казанцева Л. К., Юсупов Т. С., Лыгина Т. З., Шумская Л. Г., Цыплаков Д. С. Пеностекло из механоактивированных цеолитсодержащих пород // Стекло и керамика. 2013. № 10. С. 18–22.
6. Кутугин В. А., Лотов В. А., Ревенко В. В. Пеностекло на основе природного и техногенного аморфного кремнезема // Техника и технология силикатов. 2016. № 3. С. 24–28.
7. Никитин А. И., Казанцева Л. К. Теплоизоляционные материалы и изделия на основе трепелов Потанинского месторождения // Строительные материалы. 2014. № 8. С. 34–36.
8. Пат. 2246457 РФ, МПК⁷ С 03 С 11/00. Шихта для получения пеностеклового облицовочного материала / Калинин В. Т., Макаров В. Н., Суворова О. В., Макаров Д. В., Кулькова Н. М.; Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И. В. Тананаева Кольского научного центра РАН. – № 2003118339/03; заявл. 17.06.2003; опубл. 20.02.2005, Бюл. № 5.
9. Манакова Н. К. Суворова О. В. Теплоизоляционный материал на основе кремнеземсодержащих отходов переработки рудного сырья Кольского полуострова // ЖПХ. 2012. Т. 85, № 11. С. 1741–1745.

Пути повышения энергоэффективности ограждающих конструкций зданий

Пак А. А., Сухорукова Р. Н. (г. Апатиты, Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И.В.Тананаева КНЦ РАН)

Аннотация. Известные конструктивно-технологические решения не обеспечивают требуемые теплозащитные свойства наружных стен. В ИХТРЭМС КНЦ РАН разработан способ изготовления термоэффективных стеновых и теплоизоляционных материалов, позволяющий улучшить эксплуатационные свойства строительных материалов и соответствовать требованиям действующих нормативных стандартов.

Abstract. Known constructional and technological decisions do not provide the required thermal insulation properties of external walls. The Institute of Chemistry and Technology of Rare Elements and Mineral Raw Materials of the Kola Science Center, RAS has developed the method for the manufacture of thermally efficient wall and insulation materials allowing to improve the operational properties of building materials and being in compliance with the demands of acting regulatory documents.

Ключевые слова: энергоэффективность, газобетон, технология, эксплуатационные свойства, ограждающие конструкции.

Key words: energy efficiency, aerated concrete, technology, operational properties, enclosing structures.

Российская Федерация является крупнейшим государством мира по территории и занимает 1/9 часть земной суши, что составляет 17.075 млн км² (на втором месте Канада – 9.976 млн км²). При этом большая часть ее территории расположена севернее 50° с.ш. в восточной части Европы и северной части Азии. Около 65 % территории (районы Сибири и Дальнего Востока) находятся в зоне вечной мерзлоты. Суровые климатические условия определяют более жесткие требования по обеспечению необходимых температурно-влажностных условий проживания в гражданских и промышленных зданиях и сооружениях. Российская Федерация, являясь одним из основных производителей и поставщиков топливо-энергетических ресурсов в мире, сама расходует их крайне неэкономно. Из результатов фотосъемки земной поверхности в инфракрасных лучах, проводимой космической разведкой, стало известно, что еще в 70-х гг. прошлого века у нас уходило в атмосферу до 70 % тепловой энергии из каждого отапливаемого здания и до 40 % – из трубопроводов. Сейчас положение не намного лучше. Мы в прямом смысле обогреваем атмосферу. Если в США теплопотери в расчете на 1 м² жилья составляют в среднем 30 Гкал, в Германии – от 40 до 60, то в России – около 600 Гкал [1]. В западных странах доля тепловой энергии, затрачиваемой

на отопление зданий, не превышает 20–22 %, тогда как у нас в стране – около 34 %. С 1.10.2003 г. Постановлением Госстроя России были введены в действие СНиП 23-02-2003 "Тепловая защита зданий", согласно которым нормируемые значения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций увеличены в 3–3.5 раза по сравнению с действовавшими значениями до 1.01.2000 г. В связи с этим толщина стен из одинарного керамического кирпича по климатическим условиям Мурманской области должна быть увеличена до 1.9 м, из силикатного кирпича – до 2.8 м, из легкого бетона плотностью 1 000 кг/м³ – до 1.2 м, и даже из наиболее эффективного на сегодняшний день ячеистого бетона (плотностью 600÷700 кг/м³) – до 0.7–0.8 м. Естественно, такие "крепостные" стены никто не возводит, в связи с чем разрабатываются новые термоэффективные стеновые и теплоизоляционные материалы, проектно-конструкторские решения.

С теплотехнической точки зрения различают три вида наружных стен по числу основных конструктивных слоев: одно-, двух- и трехслойные. *Однослойные* ограждающие конструкции выполняющие одновременно несущие и теплоизоляционные функции, наиболее просты в исполнении и эксплуатации. Наиболее полно соответствуют новым требованиям по теплозащите зданий однослойные стены из ячеистого бетона, но для возведения стен приемлемой толщины (менее 500 мм) необходимо изготавливать стены из ячеистых бетонов плотностью D400–500, класса по прочности на сжатие не менее В1.5 с коэффициентом теплопроводности не более 0.1 Вт/(м·°С) [2]. С 1960-х гг. у нас в стране становятся известными и достаточно популярными легкобетонные стеновые изделия с заполнителем из вспененных полистирольных гранул (полистиролбетон) плотностью 800–1 100 кг/м³, класса по прочности В2.5–В7.5, теплопроводностью 0.2–0.3 Вт/(м·°С). Преимущества полистиролбетона видны из сравнительных характеристик различных стеновых материалов (табл. 1).

Таблица 1 – Сравнительная характеристика различных стеновых материалов

Материал	Плотность, кг/м ³	Теплопроводность, Вт/(м·°С)	Теплопотери, Вт/м ²	Толщина стены при R _{пр} = 3.15 м ² ·°С/Вт*	Масса 1 м ² стены, кг
Кирпич глиняный полнотелый	1 700	0.81	54.0	2.55	4337.5
Кирпич глиняный пустотелый (пустотность 20 %)	1 400	0.43	28.7	1.35	1896.3
Кирпич силикатный	1 800	0.87	58.0	2.74	4932.9

Окончание табл. 1

Материал	Плотность, кг/м ³	Теплопроводность, Вт/(м·°С)	Теплопотери, Вт/м ²	Толщина стены при $R_{пр} = 3.15 \text{ м}^2 \cdot \text{°С}/\text{Вт}^*$	Масса 1 м ² стены, кг
Ячеистый бетон (автоклавный)	500	0.18	17.5	0.55	303.2
Керамзитобетон	850	0.38	26.7	1.18	1004.1
Дерево	500	0.15	33.3	0.47	236.2
ПОЛИСТИРОЛБЕТОН	500	0.13	13.3	0.30	135.0

* для Москвы и Московской области

Двухслойные стены состоят из несущего (конструкционного) и ненесущего (теплоизоляционного) слоев, когда к несущему слою (бетон, кирпич) прикрепляют специальными дюбелями или гибкими связями теплоизоляционные элементы из минераловатных, пенополистирольных и др. утеплителей. В двухслойных стенах теплоизоляционный слой может быть расположен как с внутренней, так и с наружной стороны. Недостаток такой конструкции стены, когда теплоизоляционный слой устраивается из предварительно изготовленных плит, состоит в неизбежном образовании зазора между разноплотными конструктивными слоями, что приводит к накоплению влаги в зазоре и возникновению "мостиков холода" при замерзании стены. Расположение теплоизоляционного слоя с внутренней стороны стены требует специального теплотехнического расчета по защите от увлажнения и накопления влаги в толще утеплителя вследствие диффузии водяного пара через ограждающую конструкцию из помещения наружу. Ограждающие конструкции с наружным расположением утеплителя имеют ряд преимуществ (высокая теплотехническая однородность, простота реконструкции теплозащиты и др.). Однако утеплитель необходимо надежно защищать от внешних атмосферных воздействий (штукатурка, окраска, паронепроницаемая пленка, фасадная плита). Между фасадными плитами и утеплителем устраивают воздушный вентилируемый зазор толщиной до 60 мм. В настоящее время стены с наружной теплоизоляцией реализуются в большинстве строящихся зданий с монолитным железобетонным каркасом, а также при реконструкции панельных и кирпичных зданий. *Трехслойные* ограждающие конструкции наиболее эффективны и распространены в строительной практике, когда между двумя несущими слоями располагается слой теплоизоляции. На слуху "сэндвич-панели" и "сэндвич-блоки". Наиболее эффективными являются многослой-

ные композиционные стеновые изделия с применением высококачественных теплоизоляционных материалов. В США, странах Западной и Северной Европы около 60 % ограждающих конструкций зданий возводится с применением волокнистых утеплителей и примерно 20 % – с использованием пенопластов [3]. Однако и здесь сохраняются недостатки многослойных конструкций – зазор между слоями и образование "мостиков холода", соединение слоев гибкими связями, теплотехническая неоднородность.

Таким образом, известные конструктивные решения наружных стен имеют недостатки, не позволяющие максимально обеспечить требуемые теплозащитные свойства ограждения. Очевидно, нужен принципиально иной подход к получению многослойного композиционного материала, обеспечивающего, помимо всех необходимых физико-механических, гидротехнических, санитарно-гигиенических, теплозащитных и др. свойств, бесшовное соединение конструктивных слоев.

В результате экспериментальных исследований, выполненных в отделе технологии строительных материалов ФГБУН ИХТРЭМС КНЦ РАН разработан способ изготовления термоэффективных стеновых и теплоизоляционных материалов (патенты РФ № 2259272, 2286249, 2472615), названных нами полистиролгазобетоном (ПГБ), отличительными признаками которых являются:

- раздельная укладка в форму материалов конструктивных слоев изделия с последующим закрытием формы крышкой;
- в качестве материалов для формирования конструктивных слоев выбраны газобетонная смесь и суспензионный бисерный полистирол, которые при повышении температуры увеличиваются в объеме: при температурах 35–45 °С газобетонная смесь вспучивается, увеличиваясь в объеме в 1.3–2 раза, а полистирол при температурах свыше 85 °С (оптимум 95–100°С) вспенивается с увеличением в 30 и более раз;
- формообразование изделия в окончательном виде происходит в процессе термовлажностной обработки в пропарочной камере при температурах 85–100 °С;
- вследствие объемного расширения материалов во время термовлажностной обработки изделия происходит подпрессовывание конструктивных слоев друг к другу, обеспечивая их бесшовное соединение без применения дополнительных скрепляющих элементов.

В разрабатываемой технологии во время выполнения одного процесса – пропаривания бетона происходят без внешнего воздействия, в разной последовательности *пять* технологических операций:

- вспучивание газобетонной смеси;
- вспенивание пенополистирола (ППС);
- формообразование изделия;
- взаимное прижатие конструктивных слоев;
- ускорение твердения бетона.

В табл. 2 приведены результаты испытаний основных физико-механические свойств ячеистого бетона, полистиролбетона и полистиролгазобетона.

Таблица 2 – Основные эксплуатационные свойства ячеистого бетона, полистиролбетона и полистиролгазобетона

Наименование свойств	Ячеистый бетон		Полистирол-бетон		Полистирол-газобетон	
Средняя плотность, кг/м ³	400	500	400	500	400	500
Прочность при сжатии, МПа	1,00	1,90	1,45	2,90	2,5	2,7
Прочность при изгибе, МПа	0,52	0,96	0,60	0,70	0,83	1,84
Теплопроводность, Вт/м·°С	0,088	0,100	0,105	0,125	0,060	0,063
Марка по морозостойкости	F5	F25	F50-F75	F75-F100	F50	F75

Из табл. 2 видно, что по всем испытанным физико-механическим свойствам ПГБ превосходит сравниваемые бетоны. Обращает внимание существенное снижение теплопроводности (при плотности 400 кг/м³ – в 1.47 раза, 500 кг/м³ – в 1.59 раза).

Таким образом, для повышения энергоэффективности ограждающих конструкций зданий необходимо разрабатывать новые технологические, конструкторские решения и строительные материалы с улучшенными показателями эксплуатационных свойств.

Библиографический список

1. Баталин Б. С., Евсеев Л. Д. Эксплуатационные свойства пенополистирола вызывают опасения // Строительные материалы. 2009. № 10. С. 55–58.
2. Ухова Т. А. Перспективы развития производства и применения ячеистых бетонов // Строительные материалы. 2005. № 1. С. 18–20.
3. Завадский В. Ф., Косач А. Ф. Производство стеновых материалов и изделий. Новосибирск : НГАСУ. 2001. 168 с.

К вопросу обеспечения строительной отрасли Мурманской области вяжущими материалами

Тюкавкина В. В., Гуревич Б. И. (*г. Апатиты, ИХТРЭМС КНЦ РАН*)

Аннотация: Показано, что организация производства вяжущих материалов в Мурманской области возможна при комплексной переработке сырья и с использованием отходов промышленности.

Abstract: It is shown that the organisation of manufacture of binders in the Murmansk region is possible when complex processing of raw materials and industrial wastes.

Ключевые слова: Портландцемент, шлакощелочные, магнезиальные вяжущие, известково-шлаковый, известково-золенный цемент, нанодисперсный кремнезем, отходы промышленности.

Key words: Portland cement, alkali cinder, magnesia cementing, izvestkovo-slag, lime-ash cement, nanodispersed silica, waste industry.

Дефицит основных строительных материалов – одна из наиболее острых проблем отрасли и один из сдерживающих факторов развития стройиндустрии Мурманской области. В связи с отсутствием собственного производства область вынуждена завозить все используемые вяжущие с других регионов.

Вопрос о создании собственного цементного производства поднимался неоднократно и каждый раз не находил решения ввиду отсутствия соответствующей сырьевой базы для его получения. Вместе с тем, проведенными многочисленными исследованиями доказана принципиальная возможность получения цемента из некондиционного природного сырья и отходов промышленности [1–4].

При получении портландцементного клинкера в качестве карбонатного сырья могут быть использованы карбонатиты и вскрышные породы Ковдорского месторождения и известняки Титановского месторождения, хотя, как те, так и другие по химическому составу не удовлетворяют требования, предъявляемым к цементному сырью. Они характеризуются неоднородностью минерального и химического составов, низким содержанием оксида кальция и присутствием апатита и силикатов магнезия. С целью устранения неоднородности состава и снижения содержания P_2O_5 , MgO до предельно допустимых норм требуется предварительная подготовка сырья.

В качестве алюмосодержащего и железосодержащего сырья для получения портландцемента могут рассматриваться мелилититы Ковдорского месторождения, золошлаковая смесь Апатитской ТЭЦ, магнезиально-железистые шлаки КГМК комбината "Печенганикель".

Для улучшения процессов спекания и снижения отрицательного влияния нежелательных примесей в качестве минерализатора могут быть использованы фторсодержащие отходы Кандалакшского алюминиевого завода. При помоле клинкера в качестве активной минеральной добавки можно использовать золошлаковую смесь Апатитской ТЭЦ, либо гранулированные магнезиально-железистые шлаки комбината "Печенганикель".

Однако технология обогащения основного цементного сырья может оказаться целесообразной, лишь при комплексной переработке сырья, когда процесс обогащения карбонатного сырья не является необходимым только для цементного производства и оно возмещает затраты в виде долевого участия. Организация цементного производства в Мурманской области возможна при комплексной переработке нефелина на глинозем, содопродукты и цемент или апатита на фосфорные удобрения, серную кислоту и цемент, либо апатит-карбонатных руд с получением апатита и кальцитового концентрата.

Альтернативным направлением обеспечения строительной отрасли вяжущими может быть организация производства композиционных шлакощелочных вяжущих на основе магнезиально-железистого гранулированного отвального шлака и жидкого стекла [1,5–6].

Способ получения шлакощелочного вяжущего включает помол гранулированного магнезиально-железистого шлака и затворение измельченного шлака раствором щелочного реагента. Механоактивация шлака в атмосфере CO_2 способствует повышению скорости твердения шлакощелочного вяжущего и его прочности в начальные сроки твердения. Оптимальное содержание жидкого стекла с кремнеземистым модулем 1.2–1.7 составляет 3–5 % в расчете на Na_2O от массы молотого шлака. Удельная поверхность молотого шлака составляет 300–350 m^2/kg . Вяжущее способно твердеть в нормальных и гидротермальных условиях, а также при пониженной температуре воздуха. В зависимости от состава, вида заполнителя и способа твердения прочность при сжатии колеблется от 50 до 100 МПа, при изгибе – 3–14 МПа.

Мелкозернистые бетоны на шлакощелочном вяжущем превосходят по прочности бетоны на портландцементе в 1.5–2 раза, также они обладают высокой сульфатостойкостью, морозостойкостью, водонепроницаемостью,

повышенной плотностью и имеют ряд других ценных свойств. Бетоны устойчивы в растворах щелочей и борной кислоте, коэффициент стойкости в горячем дезактивирующем растворе и борной кислоте 98–105 %. Долголетними испытаниями в лабораторных условиях подтверждена долговечность мелкозернистого бетона. За 17 лет прочность при сжатии образцов, твердевших на воздухе, остается приблизительно на уровне 28-суточной прочности, а твердевших во влажных условиях и в воде, значительно превосходит марочную прочность. Наиболее рациональными областями применения шлакощелочного вяжущего являются гидротехническое и энергетическое строительство, строительство дорог, для изоляции трубопроводов морских сооружений и жаростойких покрытий.

Расширение номенклатуры строительных материалов возможно за счет организации производства магнезиальных вяжущих. Магнезиальные вяжущие характеризуются высокими эксплуатационными характеристиками, обладают бактерицидными свойствами и являются экологически безопасными. Уникальность магнезиального вяжущего заключается в сочетании его высоких вяжущих свойств и совместимости практически с любыми видами заполнителей, в том числе органического природного и искусственного происхождения.

В качестве сырья для получения магнезиального каустического цемента обычно используют осадочные карбонатные породы, представленные магнезитом и доломитом. Сырьем для получения оксида магния в Мурманской области может служить доломит Титановского месторождения, который длительное время в дробленном виде использовался как декоративный щебень для создания фактуры наружной поверхности стеновых панелей. В настоящее время месторождение не разрабатывается. Проведенными исследованиями показана возможность получения магнезиального цемента на основе частично обожженного доломита Титановского месторождения [7, 8]. Температура обжига доломита составляет 690–720 °С, продолжительность 2–2.5 ч. Прочность вяжущего в зависимости от температуры и времени обжига составляет 40–75 МПа. При производстве магнезиального цемента по сравнению с производством портландцемента сокращаются энергетические затраты. С использованием магнезиального вяжущего можно изготавливать сухие быстротвердеющие строительные смеси, стеновые блоки, наливные полы, подоконные доски, пенобетонные изделия, другие строительные изделия с улучшенными тепло- и звукоизоляционными свойствами.

Одним из вариантов обеспечения строительной отрасли вяжущими является организация производства композиционных низкомарочных гидравлических вяжущих на основе отходов промышленности.

В институте на основе гранулированного магнезиально-железистого шлака, негашеной извести и гипса разработан известково-шлаковый цемент [1, 9]. Известково-шлаковые цементы как сухого, так и мокрого помола могут применяться для изготовления бетонов марок 100–150, твердеющих при пропаривании. Бетоны более высоких марок могут быть получены при автоклавной обработке материала.

С использованием золошлаковой смеси Апатитской ТЭЦ, Ковдорской некондиционной извести и гипса разработан известково-зольный цемент (ИЗЦ) [1, 9]. Вяжущее после автоклавной обработке имело прочность до 9.3 МПа. Введение добавок гипса, сульфатно-хлоридных отходов комбината "Североникель" ("СН") в ИЗЦ по отдельности и совместно приводит к росту прочности при сжатии до 25 МПа. Такое вяжущее целесообразно использовать для изготовления стеновых материалов. Развитие производства композиционных низкомарочных гидравлических вяжущих на основе отходов промышленности позволит снизить цементоемкость строительства.

Современные тенденции развития строительного материаловедения связаны с необходимостью разработки новых ресурсосберегающих технологий получения композиционных материалов с повышенными эксплуатационными характеристиками и долговечностью. Использование нанодисперсных добавок дает возможность получения новых, улучшенных характеристик строительных материалов и способов эффективного влияния на эти способы.

В ИХТРЭМ в лабораторных условиях при выщелачивании отвального гранулированного шлака КГМК комбината "Печенганикель" растворами соляной и серной кислотами были получены порошки аморфного мезопористого кремнезема с высокой удельной поверхностью 270–753 м²/г, содержащие 69.5–93.1 мас.% SiO₂ [10]. Проведенные исследования показали, что порошки кремнезема, полученные при переработке магнезиально-железистого шлака, являются ускорителями гидратации и твердения цемента и бетона на его основе. Введение порошков кремнезема в систему портландцемент-песок-вода приводит к повышению прочности при сжатии на 12–24 % при массовом содержании добавки начиная от тысячных долей процента по отношению к цементу. При совместном использовании кремнезема и поликарбонатного суперпластификатора прочность при сжатии цементного камня

в начальные сроки твердения увеличивается в 1.5–1.8 раза, при изгибе – в 1.2–1.5 раза [11]. Применение таких добавок позволит экономить цемент и при этом получать быстротвердеющие композиции.

Таким образом, Мурманская область располагает техногенным сырьем пригодным для производства вяжущих материалов, применяемых в жилищном и промышленном строительстве. Развитие производства композиционных шлакощелочных, магнезиальных, низкомарочных гидравлических вяжущих, мезопористого кремнезема позволит значительно снизить расход цемента и обеспечить строительство вяжущими материалами.

Библиографический список

1. Строительные материалы из минерального сырья Кольского полуострова / Макаров В. Н., Крашениников О. Н., Гуревич Б. И. [и др.]. Ч. 2. Апатиты : изд. КНЦ РАН, 2003. 430 с.

2. Гуревич Б. И., Тюкавкина В. В. Портландцементный клинкер на основе белитовых // Горнопромышленные отходы как сырье для производства строительных материалов. Апатиты : изд. КНЦ РАН, 1992. С. 20–27.

3. Тюкавкина В. В., Гуревич Б. И. Фторсодержащие отходы в качестве минерализатора портландцементного клинкера // Исследование технологии и свойств строительных и технических материалов из природного и техногенного сырья. Апатиты : изд. КНЦ РАН, 2002. С. 29–35.

4. Тюкавкина В. В., Гуревич Б. И. Портландцемент на основе техногенного сырья // Мат. Междунар. конф. “Фундаментальные проблемы комплексного использования природного и техногенного сырья Баренцева региона в технологии строительных материалов”, 1–4 апреля 2003. – Апатиты : Изд-во КНЦ РАН, 2003. С. 160–162.

5. Гуревич Б. И. Вяжущие вещества из техногенного сырья Кольского полуострова. Апатиты : изд. КНЦ РАН, 1996. 179 с.

6. Пат. 2377201 РФ, МПК С04В 7/76 (2006.01) С04В 7/153 (2006.01). Способ получения шлакощелочного вяжущего / Калинин А. М., Гуревич Б. И., Калинин Е. В., Тюкавкина В. В.; Ин-т химии и технологии редких элементов и минер. сырья им. И. В. Тананаева Кол. науч. центра РАН. – №126632/03; заявл. 30.06.2008, опубл. 27.12.2009, Бюл. № 36.

7. Тюкавкина, В. В., Гуревич Б. И. Влияние режимов обжига доломита на свойства магнезиального вяжущего // Сухие строительные смеси. 2014. № 1. С. 33–36.

8. Тюкавкина В. В., Гуревич Б. И. Магнезиальные вяжущие из доломита Титановского месторождения // Наука и образование – 2014 [Электронный ресурс] : материалы Междунар. науч.-техн. конф., Мурманск, 24–28 марта 2014 г. – Мурманск : ФГБОУ ВПО "МГТУ", 2014. С. 865–869.

9. Гуревич Б. И., Тюкавкина В. В. Местные вяжущие материалы на основе строительной извести // Север строительный. 2008. № 9. С. 10–11.

10. Получение аморфного кремнезема из шлаков цветной металлургии и его использование для магнезиальных вяжущих / Тюкавкина В. В., Касиков А. Г., Гуревич Б. И., Майорова Е. А. // Химическая технология. 2014. № 3. С. 167–172.

11. Использование порошков кремнезема, полученных после выщелачивания магнезиально-железистых шлаков, в качестве добавок в вяжущие материалы / Тюкавкина В. В., Касиков А. Г., Гуревич Б. И., Майорова Е. А. // Проблемы рационального использования природного и техногенного сырья Баренц-региона в технологии строительных и технических материалов: материалы V Всероссийской науч. конф. с междунар. участием, Апатиты 12–15 ноября 2013. Апатиты : КНЦ РАН, 2013. С. 115–117.

**ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ
АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ**

Кристаллизация водной фазы в обратных эмульсиях при транспортировке нефти в трубопроводе, как процесс, предшествующий образованию гидратных отложений

Бричка К. М.¹, Колотова Д. С.², Деркач С. Р.², Simonsen G.³, Simon S.³ Sjöblom J.³

¹ (г. Мурманск, ФГБОУ ВО "Мурманский государственный технический университет", кафедра экологии, инженерных систем и техносферной безопасности, e-mail: xeniabrichka@gmail.com)

² (г. Мурманск, ФГБОУ ВО "Мурманский государственный технический университет", кафедра химии, e-mail: kolotovads@gmail)

³ (Norway, Trondheim, NTNU, Ugelstad laboratory, e-mail: galinapange@gmail.com)

Аннотация. В статье рассмотрены теоретические вопросы гидратообразования при транспортировке нефти в Арктическом регионе и их возможные экологические последствия. На основе полученных экспериментальных данных сделаны выводы о влиянии различных параметров обратных эмульсий на процесс кристаллизации.

Abstract. The article considers theoretical problems of hydrates formation during the oil transportation in the Arctic region and their potential environmental impacts. Conclusions about the influence of various parameters of inverse emulsions on the crystallization process based on the obtained experimental data.

Ключевые слова: гидрат, Арктика, транспортировка нефти, кристаллизация воды, водонефтяные эмульсии.

Key words: hydrate, the Arctic, the oil transportation, water crystallization, water-in-oil emulsions.

Спрос на энергетические ресурсы Арктического региона постоянно растет. Более 25 % неиспользованных мировых запасов нефти приходятся на Арктический шельф. Однако экстремальные природные условия Арктики обуславливают возникновение огромного числа проблем. Одной из таковых является закупорка трубопроводов при транспортировке нефти вследствие образования гидратов. В смесях нефти, газа и воды гидраты могут образовываться при определенных термобарических условиях. По обыкновению – это низкие температуры и относительно высокое давление. Чем выше давление в трубопроводе и ниже температура, тем быстрее образуются и отлагаются на стенках труб гидраты [1, 2, 3].

Образовываясь, гидраты могут быть рассредоточены в качестве частиц и переноситься с жидкостью, или они могут объединяться друг с другом в большие кластеры, что в конечном итоге может стать причиной полной или частичной закупорки трубопровода и серьезных аварий. Отмечается, что некоторые нефтяные системы имеют высокие риски образования гидратных отложений, другие – низкий уровень или вовсе отсутствие склонности к образованию гидратных пробок в сопоставимых условиях. Гидраты относятся к неустойчивым соединениям и при некоторых условиях довольно быстро разлагаются [4, 5, 6].

Процесс формирования газовых гидратов похож на процесс кристаллизации, в том числе на стадии нуклеации гидрата и на стадии развития, в которой метастабильная кристаллизация главным образом вызвана переохлаждением и/или пересыщением. Газовые гидраты называются "клатраты" или соединения включения. Это означает, что есть молекулы воды, которые включают небольшие гостевые молекулы газа, такого как метан, этан и пропан [1, 3].

Система с преобладанием нефти содержит газ, нефть и воду, где вся вода диспергируется в масляной фазе в виде капель за счет природных поверхностно-активных веществ, содержащихся в нефти (асфальтены, парафины, резины и др.). Сначала образуется гидратная пленка вокруг каждой капли воды, а затем агрегаты инкрустированных гидратами капель воды под действием капиллярных сил формируют пробку (рис. 1). Со временем гидраты твердеют, и их становится все труднее удалить [3, 4].

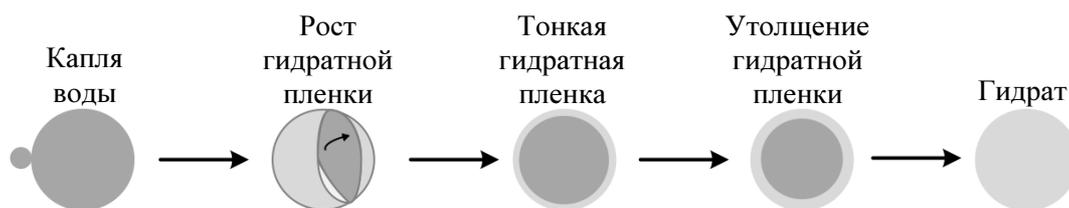


Рисунок 1 – Образование гидрата [3]

Проблема образования гидратов весьма актуальна для решения вопроса о безотказной работе магистральных трубопроводов. Гидраты аккумулируют на сужениях трубопровода, дросселях, клапанах и другом оснащении, формирование гидратов наносит физический ущерб оборудованию, вызывает проблемы с сепарацией, приводит к значительному увеличению гидравлического сопротивления и снижению пропускной способности трубопровода вплоть до полного закупоривания проходного сечения. В ряде случаев

образование гидратных пробок приводит к серьезным осложнениям при эксплуатации, а также способствует возникновению аварийных и опасных ситуаций, что в свою очередь наносит неизгладимый ущерб и без того хрупкой арктической экосистеме. Причиной критического воздействия на окружающую среду является наихудший вариант развития событий – разрыв трубопровода, сопровождающийся разливом нефти большого объема [7].

Ликвидация нефтяных разливов в условиях Арктики осложняется экстремальными природными условиями. Арктический климат характеризуется низкими температурами, сильными ветрами, малой продолжительностью дневного времени суток. Все это требует дополнительных технологий, отличающихся от обычного ПЛАРН (план ликвидации аварийного разлива нефти). Следствием вышесказанного является необходимость предупреждения гидратообразования.

Для предотвращения образования гидратов при транспортировке углеводородов применяют различные методы, использование которых зависит от условия и места гидратообразования в технологической системе добычи и транспорта нефти. Помимо дорогостоящих и иногда неэффективных инженерных средств, таких как удаление воды перед трубопроводным транспортом и поддержание РТ условий вне области гидратообразования, риски формирования гидратов могут быть уменьшены путем введения ингибиторов [1, 3, 4]. Вследствие высокой чувствительности и уязвимости Арктической экологической системы, где токсичные загрязнения разлагаются очень медленно из-за низких температур и низкого содержания бактерий в морской воде, промышленное применение термодинамических ингибиторов оказывается неприемлемым. По этой причине для работы в северных широтах необходима разработка инновационных экологически безопасных технологий ликвидации гидратов.

Для эффективного управления гидратообразованием в водонефтяных эмульсиях состав водной фазы и размеры капель являются наиболее значимыми параметрами.

Распределения капель по размерам и диаметры капель определялись методами ЯМР (ядерно-магнитной резонансной спектроскопии) и оптической микроскопии.

На рис. 2 приведены распределения капель по размерам, полученные методом ЯМР для водонефтяных эмульсий, в качестве водной фазы исполь-

зовался 3,5 %-й раствор NaCl, в качестве масляной – тяжелая нефть Северного моря.

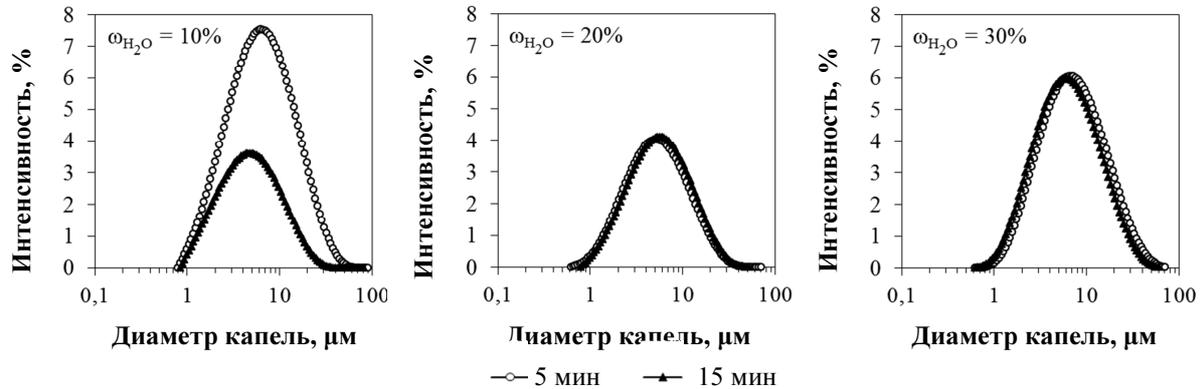


Рисунок 2 – Распределение капель по размерам обратных эмульсий, приготовленных в течение 5 и 15 мин со скоростью 2 000 об/мин

Изменение времени диспергирования, как видно из распределений (рис. 2) практически не оказывает влияния на результат. Различия между результатами ЯМР измерений зачастую связаны с различным объемом исследуемого образца.

Средний диаметр капель рассчитывался путем обработки полученных ЯМР распределений с содержанием водной фазы от 10 до 30 %, и микрофотографий с увеличением 50х (рис. 3) для образцов эмульсий, приготовленных со скоростями 2 000 и 8 000 об/мин. В табл. 1 представлены различные скорости диспергирования.

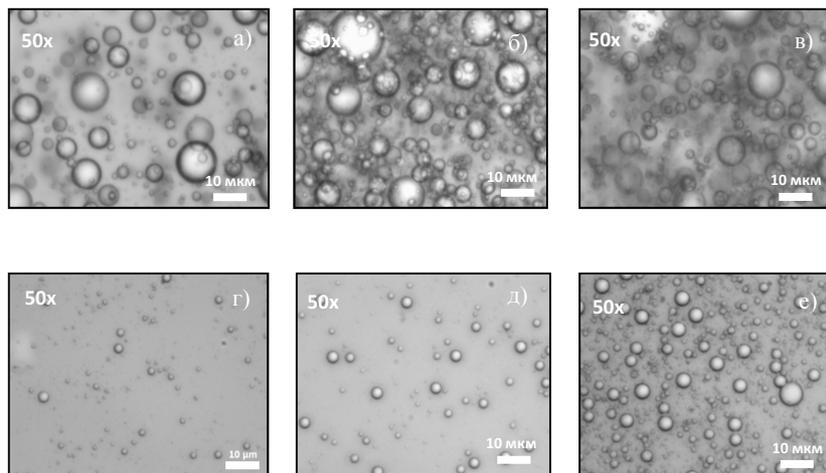


Рисунок 3 – Микрофотографии эмульсий с 3,5 %-м раствором NaCl, приготовленные в течение 5 мин со скоростью 2 000 об/мин (а–в) и 8 000 об/мин (г–е); концентрация водной фазы: а, г – 10 %; б, д – 20 %; в, е – 30 %

Таблица 1 – Диаметры водных капель эмульсий с 3,5 %-м раствором NaCl при различных скоростях диспергирования, полученные методами оптической микроскопии и ЯМР

Концентр. вод. фазы, %	\bar{d} (мкм), оптическая микроскопия		\bar{d} (мкм), ЯМР			
	2 000 об/мин	8 000 об/мин	2 000 об/мин	8 000 об/мин	16 000 об/мин	24 000 об/мин
1	8.0	2.7	–	–	–	–
5	3.7	2.4	–	–	–	–
10	4.8	6.1	8 ± 1	4.7 ± 0.2	5.1 ± 0.5	6 ± 1
20	4.5	3.2	8.1 ± 0.2	3.6 ± 0.5	4.0 ± 0.1	4.0 ± 0.3
30	4.6	5.1	9.6 ± 0.3	6.1 ± 0.6	3.4 ± 0.3	4.0 ± 0.2

Данные ЯМР и микроскопа показывают, что увеличение скорости диспергирования с 2 000 до 8 000 об/мин приводит к уменьшению диаметров капель ~ в два раза. На основе данных, полученных с помощью ядерного магнитного резонанса можно сделать вывод о том, что дальнейшее увеличение скорости диспергирования с 16 000 до 24 000 об/мин не оказывает существенного влияния.

Влияние размеров капель на процесс кристаллизации изучался на ДСК (дифференциальном сканирующем калориметре). На рис. 4 представлены термограммы эмульсий, полученных при различных скоростях перемешивания.

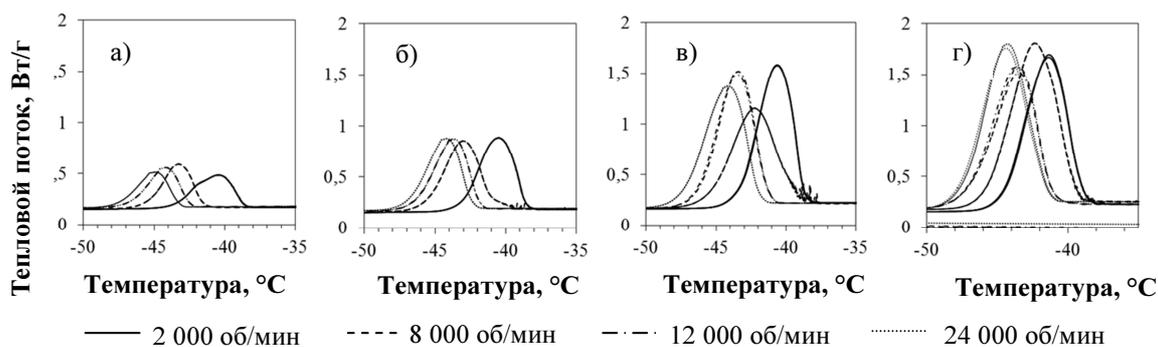


Рисунок 4 – Термограммы кристаллизации, полученные методом ДСК для эмульсий с 3,5 %-м раствором NaCl. Концентрация водной фазы: (а) – 5 %, (б) – 10 %, (в) – 20%, (г) – 30 %

Согласно термограммам температура кристаллизации водных капель обратных эмульсий находится в интервале от –41 до –45 °С и снижается на ~ 1 °С с возрастанием скорости диспергирования. Температура кристаллизации капель, как было уже сказано, зависит также от состава водной фазы, концентрации и типа соли. Табл. 2 отражает результаты данного исследования.

Таблица 2 – Температура кристаллизации водной фазы эмульсий, приготовленных со скоростью 8 000 об/мин с различной концентрацией и составом водной фазы

Водная фаза	Температура кристаллизации, °С				
	1 %	5 %	10 %	20 %	30 %
Дистил. вода	-39.6	-39.1	-39.0	-38.7	-38.6
3,5 % NaCl	-46.4	-43.3	-43.0	-42.3	-42.4
3,5 % CaCl ₂	-43.6	-42.4	-41.8	-41.7	-41.4

Температура кристаллизации водной фазы тем ниже, чем меньше размер капель. Наличие электролита в эмульсии также снижает значение температуры кристаллизации, а повышение концентрации солей приводит к смещению пика кристаллизации на ~ 2–3 °С. Водонефтяные эмульсии с содержанием воды от 1 до 30 % остаются стабильными после трех циклов охлаждения/нагревания на ДСК, все кривые имеют хорошо воспроизводимые формы, а размеры капель не изменяются.

Работа выполнена при поддержке проекта NORRUS "Integrated Oil Transportation under Arctic Conditions", проектная работа осуществлялась в Норвежском университете науки и технологии (лаборатория Углстад), а также при поддержке гранта РФФИ № 16-58-20008.

Библиографический список

1. Sloan, E. D., Koh, C. A. Clathrate hydrates of natural gases. CRC Press; 2007.
2. Mohammadi, A. H., Ji, H., Burgass, R. W. Gas hydrates in oil systems. Society of Petroleum Engineers Conference, 2006.
3. Sloan, E. D., Koh, C. A. Natural gas hydrates in flow assurance. Elsevier Inc.; 2011.
4. Zerpa, L. E., Aman, S., Joshi, S., Rao, I., Sloan, E. D., Koh, C. A., Sum, A. K. Predicting hydrate blockages in oil, gas and water-dominated systems. Offshore Technology Conference, 2012.
5. Abulnaga, B., Woods, B., Prescott, N., Mantha, A. Pumping hydrate slurries in the Arctic: A different perspective. Offshore Technology Conference, 2014.
6. Straume, E., Kakitani, C., Merino-Garcia, D., Morales, R., Sum, A. K. Experimental study of the formation and deposition of gas hydrates in non-emulsifying oil and condensate systems. Chemical Engineering Science 2016; 155: 111–126.
7. Herath, D., Khan, F., Yang M. Risk-based winterization to prevent hydrate formation in northern harsh environment. Ocean Engineering 2016; 119: 208–216.

Экологические аспекты реализации концепции "Зелёного строительства" в Арктической зоне

Васильева Ж. В. (г. Мурманск, ФГБОУ ВО "Мурманский государственный технический университет", кафедра экологии, инженерных систем и техносферной безопасности, e-mail: kuchugura@mail.ru)

Аннотация. В целях анализа возможности реализации концепции "Зеленого строительства" в г. Мурманске проведена оценка наличия и состояния части базовых категорий для обеспечения устойчивости городской среды: качества санитарной защиты, утилизации отходов, качества внешней среды.

Abstract. In order to analyze the possibility of implementing the concept of "Green building" in the city of Murmansk assess the availability and condition of the base categories for the sustainability of the urban environment: quality of health protection, waste management, quality of the environment.

Ключевые слова: Зеленое строительство, сточные воды, отходы, загрязнение атмосферного воздуха, автотранспорт, городская среда.

Key words: "Green building", waste water, waste, air pollution, transport, urban environment.

Нарастающие темпы урбанизации во всем мире приводят к беспрецедентному расширению искусственной городской среды. Одним из основных направлений гуманизации городской среды и снижения воздействия мегаполиса на окружающую среду стала концепция "Зеленого строительства", также известного как "Устойчивое строительство".

Концепция Зеленого строительства возникла в 70-х гг. прошлого века в связи с ростом кризисных экологических, экономических и социальных явлений и было вызвано необходимостью поиска инновационных моделей, обеспечивающих гармоничное развитие природы и человека. Базисом для развития концепции явилась предложенная ООН концепция "зеленого роста", предусматривающая качественное изменение моделей производства и потребления, интеграцию "зеленых принципов" в системы функционирования экономики, бизнеса и инфраструктуры [1].

Концепция Зеленого строительства предполагает формирование так называемой "устойчивой городской среды", которая базируется на обеспечении баланса следующих составляющих человеческой деятельности [2]: социально-культурный; энерго-экологический; экономический.

Это пропорционально взаимодействующие, взаимозависимые аспекты с пересекаемыми векторами воздействия, которые определяют набор и соотношение категорий, выражающих устойчивость среды обитания как целевой задачи обеспечения устойчивости развития общества в сфере строительства [2].

Особенным явлением Зеленое строительство стало в крупных городах и является сегодня важнейшим фактором формирования взглядов общества на концепцию развития городов, повышение качества жизни населения и сохранения благоприятной окружающей среды в условиях урбанизации.

Создание комфортных современных городов и поселений на Севере – особая задача, так как Арктическая зона – это место экстремальных погодных условий, высоких психофизических нагрузок людей в условиях длительной полярной ночи, сужение городских общественных пространств, таким образом, место крайне специфических условий для формирования городской среды и создания комфортных условий для жизнедеятельности населения. Неповторимая и хрупкая природа Севера с одной стороны может помочь сформировать особый неповторимый колорит и привлекательность северного города, с другой стороны, накладывает ограничения на реализацию многих общепринятых приемов и практик в области Зеленого строительства, широко используемых в других природных зонах. Таким образом, создание и реализация концепции Зеленого строительства для крупнейшего города в Арктической зоне является особой, крайне актуальной и с учетом духа времени востребованной задачей.

В целях анализа возможности реализации концепции "Зеленого строительства" в г. Мурманске необходимо было провести оценку наличия и состояния таких базовых категорий для обеспечения устойчивости городской среды как качество санитарной защиты, утилизации отходов, качество внешней среды и ряд других. В рамках этой статьи кратко описаны результаты анализа трех вышеуказанных базовых категорий.

1. Проблемы, обусловленные состоянием систем жизнеобеспечения города

Современный город является сложной инженерной системой, включающей наземные и подземные коммуникации и сооружения, подающие свет, воду, тепло, обеспечивающие водоотведение, сбор и утилизацию различных отходов.

Одной из серьезных проблем состояния систем жизнеобеспечения города Мурманска является отсутствие городских канализационных очистных

сооружений. Известно, что сточные воды города очищаются в объеме около 30 % на Северных канализационных очистных сооружениях (Северные КОС), обслуживающих Северный бассейн канализования г. Мурманска, остальной объем сточных вод без очистки сбрасывается в Кольский залив. Однако, и Северные КОС обеспечены лишь сооружениями механической очистки сточных вод, которые по сути являются сооружениями предварительной очистки, и не позволяют в достаточной степени очищать сточные воды [3]. Проектируемые (вот уже 4 года) Южные КОС позволят в перспективе проводить очистку лишь сточных вод Южного бассейна канализования г. Мурманска, Центральный район канализования и район Роста по-прежнему будут сбрасывать сточные воды в Кольский залив, являющийся к рыбохозяйственным водным объектом высшей категории. Таким образом, в обозримой перспективе г. Мурманск по-прежнему будет оказывать негативное воздействие на Кольский залив, могущий стать значимым объектом рекреационного, эстетического и хозяйственного значения для г. Мурманска, какими являются, например, (аналогичные) фиорды для городов Норвегии.

Еще одной острой проблемой в указанной части базовых категорий является проблема обращения отходами г. Мурманска, в частности обращение с твердыми коммунальными (бытовыми) отходами (ТБО). В настоящее время отходы с территории города Мурманска поступают либо для обезвреживания на завод по термической обработке ОАО "Завод ТО ТБО", где сжигание ТБО происходит без предварительной сортировки, что несет серьезный риск образования супертоксиантов – диоксинов. В ином случае неотсортированные городские отходы размещаются на "санкционированной" [4] городской свалке твердых отходов, расположенной в поселке Дровяное, деятельность которой осуществляется с 31.08.1971 [5]. Существующая свалка твердых отходов в поселке Дровяное, не соответствует современным требованиям природоохранного законодательства, к наиболее опасным экологическим факторам влияния на окружающую среду относится фильтрат, который образуется при просачивании атмосферных осадков через свалочные массы, а также диоксины, образующиеся при возгорании отходов, содержащих пластмассы, резину и других виды материалов.

Необходимо отметить, что в Российском законодательстве отсутствуют такие понятия как "санкционированная свалка" и "несанкционированная свалка" [6], "свалка" по определению не может быть санкционированной. Таким образом, в настоящее время обращение с отходами в г. Мурманске нахо-

дится вне правового поля, за исключением сжигания отходов на Заводе ТБО, которое также имеет ряд нерешенных вопросов, в частности с контролем образования и мониторингом содержания диоксинов.

2. Проблема промышленного загрязнения воздуха города Мурманска

Данная проблема связана с очень многими аспектами, одним из которых является аспект исторического формирования застройки северных городов. Формирование многих северных городов, в том числе городов Мурманской области, происходило в 30–50 гг. прошлого века в период индустриализации нашей страны и было связано со строительством (реконструкцией) крупных промышленных предприятий. Обеспечение экологических нормативов и условий жизни населения не являлось в те времена приоритетными задачами, таким образом, сначала вырастал комбинат, завод, производственный объект, а вокруг него – тут же за его забором вырастали дома для работников предприятия. Промышленное предприятие формировало вокруг себя застройку, оформлялся центр города, инфраструктура. Понятие же санитарно-защитной зоны (СЗЗ) впервые было введено только в 1963 г., первые СанПиН, которые обязывали предприятия устраивать СЗЗ вокруг промышленных площадок – тремя годами позже – в 1966 г.

Таким образом, во многих городах, сформированных в этот период достичь нормативов качества атмосферного воздуха крайне сложно так как, многие градообразующие предприятия, даже несмотря на существенно модернизированное оборудование, разделены с жилой застройкой только забором. Причем в отдельных случаях, в потенциальную санитарно-защитную зону попадает весь город. Город Мурманск является одним из примеров такой ситуации, так, в частности, в настоящее время город полностью попадает в зону оседания сажи от мазутных котельных, в первую очередь Мурманской ТЭЦ (построенной по плану ГОЭЛРО в 1934 г.) [7].

Другим аспектом формирования проблем является специфика экологического нормирования в СССР, а затем в РФ. Не углубляясь в данный вопрос, в рамках данной статьи можно отметить наличие правовых "лакун" экологическом законодательстве. В частности, в случае установления для предприятий экологического норматива предельно допустимого выброса (ПДВ), обеспечивающего сохранение показателей качества окружающей среды, предусматривалась возможность *временного* его неисполнения. В таком случае по согласованию с соответствующим контролирующим органом устанавливался *временно* согласованный выброс (ВСВ), превышающий ПДВ,

в некоторых случаях многократно. Установленные таким образом *временные нормативы* для многих предприятий просуществовали десятилетия, давая право оказывать непоправимый вред окружающей среде и здоровью населения. Данная ситуация, например, характерна для предприятий ГМК Североникель, расположенных в г. Мончегорск и п. т. г. Никель, работа которых десятилетиями осуществляется в рамках временно согласованных выбросов, которые значительно превышают предельно допустимые и ориентированные на соблюдение ПДК нормативы для разных загрязнителей.

Такая же ситуация наблюдается для Мурманского морского торгового порта, для которого определены такие высокие пределы нормативов выбросов, что даже при столь сильном загрязнении, когда снег в центре г. Мурманска покрыт черной угольной пылью, компания их, по факту, не превышает. Это, в частности, выяснил Росприроднадзор по Мурманской области, проведя плановые проверки предприятия [8].

3. Проблема эксплуатации автотранспорта в г. Мурманске

Значительное увеличение числа автомобилей в городе влечет за собой ряд значимых экологических, транспортных и социальных проблем:

- загрязнению воздуха и опосредовано почвы и водоемов;
- увеличению ширины дорог и отчуждению городских и природных территорий под развитие инфраструктуры для личного автотранспорта;
- ухудшению количества и качества пешеходных переходов, увеличение времени ожидания на светофорах;
- превращению дворовых территорий, центральных улиц и площадей в автостоянки;
- социальной напряженности, вызванной конфликтом интересов заинтересованных лиц по вышеуказанным причинам.

В результате интенсивной автомобилизации значительно возрастает загрязнение воздуха. Так на долю автотранспорта в г. Мурманске приходится до 30 % объема выбросов загрязняющих веществ. В холодную зимнюю погоду вблизи автомагистралей наблюдаются повышенные концентрации диоксида азота, взвешенных веществ, бенз(а)пирена, формальдегида [9]. При этом, специфика подвижных источников загрязнения (автомобилей) проявляется в низком расположении, пространственной распределенности и непосредственной близости к жилым районам. Они располагаются невысоко от земной поверхности, в результате чего отработавшие газы автомобилей

слабее рассеиваются ветром по сравнению с промышленными выбросами и скапливаются в зоне дыхания людей, находящихся вблизи от проезжей части.

Борьба с автомобильными пробками местных властей, как правило, ведется в направлении увеличения пропускной способности автомагистралей, расширения дорог, увеличение времени ожидания пешеходов на светофорах, что делает город комфортным для одной категории жителей – автомобилистов, за счет интересов другой категории – пешеходов.

Один из наиболее острых и актуальных вопросов – проблема парковки личного автотранспорта. Микрорайоны, проектировавшиеся в конце 70-х – начале 80-х гг. прошлого столетия из расчета 60–100 автомобилей на тысячу жителей, не могут справиться с нагрузкой, которую вызывают имеющиеся сегодня 380 автомобилей на тысячу жителей. Тротуары, газоны, детские площадки, заставленные автомобилями, стали привычной деталью городского пейзажа. Гибнут зеленые насаждения, затрудняется уборка придомовых территорий, уничтожается комфортная среда обитания, растет число бытовых конфликтов и социальная напряженность в целом.

Кроме того, новые микрорайоны в Заполярье строились с учетом снижения ветровой нагрузки, создавая замкнутое дворовое пространство. Это приводило к формированию внутри дворов более мягкого микроклимата – с пониженной ветровой нагрузкой и лучшей инсоляцией. Однако рост личных автомобилей и массовая парковка их во дворах в условиях снижения условий рассеивания выбросов приводит к формированию в замкнутых контурах дворов концентрации загрязняющих веществ в несколько раз превышающих санитарно-гигиенические нормативы, в жилых зонах дворов создаются и длительно существуют обширные и устойчивые зоны загрязнения. Через год эксплуатации дворовой территории в качестве автостоянки, содержание вредных веществ в почвах, снеге и растительности превышает ПДК на всей площади двора в десятки раз.

Простого решения проблемы нет. С учетом опыта стран Европы, для которых характерен, как правило, такой же тип урбанизации и автомобилизации, в число приоритетных мероприятий для решения этой проблемы входят:

- развитие общественного транспорта и стимулирования пользования им;
- создание "выделенных полос" только для общественного (и служебного) автотранспорта;
- создание пешеходных пространств и улиц;

– ограничение на проезд автотранспорта в местах размещения детских дошкольных учреждений, школ, лечебных и профилактических учреждений здравоохранения, объектов физической культуры и спорта,

– создание муниципальных паркингов, в том числе многоэтажных, как бесплатных, так и таких, места в которых должны сдаваться по приемлемой стоимости в аренду либо продаваться в собственность по рыночной цене.

При этом площади, отведенные под парковку, должны сокращаться до минимума, необходимого для обеспечения комфортной посадки в автомобили, проведения погрузочно-разгрузочных работ, и размещения транспорта инвалидов. Площади, высвобождающиеся при выводе плоскостных парковок, должны отводиться под озеленение и благоустройство дворов, создание комфортной городской среды.

Библиографический список

1. Липина С. А., Агапова Е. В., Липина А. В. Зеленая экономика. Глобальное развитие. М. : Изд-во Проспект, 2016. 234 с.

2. СТО НОСТРОЙ 2.35.4-2011. "Зеленое строительство". Здания жилые и общественные. Рейтинговая система оценки устойчивости среды обитания.

3. URL: <http://minstroy.gov-murman.ru/news/news/30933/>

4. Постановление Правительства Мурманской области от 29 марта 2013 г. № 139-ПП/5 "Об утверждении перечня объектов накопленного экологического ущерба на территории Мурманской области" (с изменениями на: 30.06.2016). URL: <http://www.kodeks.ru/>

5. Об утверждении муниципальной целевой программы "Оптимизация управления отходами производства и потребления в городе Мурманске" на 2009–2013 гг. (с изменениями на: 25.12.2013). URL: <http://docs.cntd.ru/document/432829741>

6. Федеральный закон от 24.06.1998 № 89-ФЗ (ред. от 29.12.2015) "Об отходах производства и потребления".

7. Холдинг экологджигрупп: [сайт]. URL: <http://ecologygroup.msk.ru/osnovnoy-vred-ekologii-murmanska-nanosyat-tets-i-avtomobili-eksperti>

8. Беллона: [сайт]. URL: http://bellona.ru/2015/10/28/murmansk_port/

9. Ежегодные доклады о состоянии и об охране окружающей среды Мурманской области. URL: <http://mpr.gov-murman.ru/activities/00.condition/>, свободный. (Дата обращения: 30.03.2017 г.).

**Оценка качества воды из родника в п. Причальное
в период с 2014 по 2017 гг.**

Глазова В. А., Гапоненков И. А., Федорова О. А. (г. Мурманск, ФГБОУ ВО "Мурманский государственный технический университет", кафедра экологии, инженерных систем и техносферной безопасности, e-mail: glazova.valerya@yandex.ru)

Аннотация. В статье показана актуальность исследования качества воды нецентрализованных источников водоснабжения. Представлена оценка качества воды родника за 3 года. Сделаны выводы, обуславливающие низкое качество воды нецентрализованных источников водоснабжения.

Abstract. The article describes the relevance of the study of water quality of centralized water supply sources. Presents an assessment of water quality in the spring for 3 years. The findings that lead to poor water quality of centralized water supply sources.

Ключевые слова: гидрохимический анализ, родники, питьевая вода.

Key words: hydrochemical analysis, springs, drinking water.

По данным Всемирной организации здравоохранения, более 2 млрд человек страдает от нехватки питьевой воды, т. е. пресная вода стремительно превращается в дефицитный природный ресурс. Поэтому всё большая часть населения земли предпочитает употреблять воду из подземных источников. Так, например, в странах Западной Европы питьевое водоснабжение на 90–95 % осуществляется за счёт подземных вод [1].

Хозяйственная деятельность, развитие водоснабжения населения подземными водами, освоение месторождений полезных ископаемых неизбежно приводят к изменению состояния подземных вод.

Оценка загрязнения подземных вод для вод питьевого назначения проводится в соответствии с СанПиН 2.1.4.1074-01 "Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества", ГН 2.1.5.1315-03 "Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования" и ГН 2.1.5.2307-07 "Ориентировочные допустимые уровни (ОДУ) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования".

Минеральный состав вод может широко варьироваться в зависимости от геологических условий данной местности. Ни подземные, ни поверхностные воды нельзя представить как чистое вещество, состав которого выражается формулой H_2O . Кроме того, природные воды содержат небольшое количество растворенных газов, минеральных и органических веществ натурального происхождения.

Согласно данным мониторинговых исследований, проводимых территориальными центрами Государственного мониторинга состояния недр (ГМСН), основными загрязняющими подземные воды веществами являются соединения азота, нефтепродукты, SO_4^{2-} и Cl^- , соединения тяжёлых металлов, фенолы [4].

Начиная с 2010 г. в региональных средствах массовой информации по Мурманской области достаточно часто освещался вопрос поступления в жилые дома п. Причальное (Мурмаши-3) питьевой воды неудовлетворительного качества. Это связано в первую очередь с тем, что водозабор в п. Причальное был в неудовлетворительном состоянии по причине отсутствия очистных сооружений водоподготовки, и в паводковый период зачастую вода не соответствовала требованиям СанПин 2.1.4. 1074-01 по цветности. На данный момент проблема решена строительством водовода, который позволяет транспортировать воду в Мурмаши-3 от очистных сооружений, расположенных в п. Мурмаши.

Известно, что в п. Причальное источником водоснабжения является Нижне-Тулумское водохранилище (река Тулома). По данным ГОУП "Мурманскводоканл" износ сетей, находящихся в хозяйственном ведении предприятия на 01.01.2013 г. составляет 100 %, это может объяснить неудовлетворительное качество питьевой воды, поступающей к потребителю.

В связи с вышеуказанными причинами население п. Причальное, дачных участков и близ расположенных населенных пунктов часто использует родник в качестве источника питьевой воды.

Управление Роспотребнадзора по Мурманской области в соответствии с Постановлением Правительства РФ от 02.02.2006 г. № 60 "Об утверждении Положения о проведении социально-гигиенического мониторинга" осуществляет мониторинг за качеством питьевой воды систем централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения в Кольском районе. Систематические наблюдения проводятся в мониторинговых точках каждого населен-

ного пункта перед поступлением в распределительную сеть и в самой распределительной сети [5].

Исследования питьевой воды проводятся по санитарно-химическим показателям (железо, марганец, свинец, цинк, медь, остаточный алюминий, хлориды, жесткость общая, нитраты, нитраты, азот аммонийный, хлорорганические соединения); микробиологическим показателям (ОМЧ, ОКБ, ТКБ, колифаги); паразитологическим показателям (цисты лямблий); радиологическим показателям (суммарная альфа-активность, бета-активность).

В табл. 1 представлены данные лабораторных исследований ФБУЗ "Центр гигиены и эпидемиологии в Мурманской области" о качестве питьевой воды в распределительной сети п. Причальное.

Таблица 1 – Доля нестандартных проб питьевой воды в распределительной сети п. Причальное (Мурмаши-3)

	2013	2014	2015
По санитарно-химическим показателям	45,45 %	28,57 %	0 %
По микробиологическим показателям	0 %	0 %	0 %

Доля нестандартных проб по санитарно-химическим показателям в распределительной сети обусловлена наряду с повышенным содержанием железа в природной воде, неудовлетворительным санитарно-техническим состоянием водопроводных сетей.

В период с марта 2014 г. по март 2017 г. научно-исследовательской группой кафедры экологии, инженерных систем и техносферной безопасности ФГБОУ ВО "МГТУ" в рамках ГБ НИР "Мониторинг качества родниковых вод г. Мурманска и его пригорода" проводились исследования качества родниковой воды в п. Причальное (рис. 1).



Рисунок 1 – Родник в п. Причальное

Изучение и оценка качества воды из родника в п. Причальное проводилась в соответствии с СанПиН 2.1.4.1175-02 "Гигиенические требования к качеству воды нецентрализованного водоснабжения. Санитарная охрана источников" по следующим показателям: запах, цветность, рН, хлориды, фосфаты, нитриты, нитраты, перманганатная окисляемость, общая щелочность, сульфаты, жесткость и общее железо.

Показатель "запах" отсутствовал на протяжении всего периода проведения исследований. Показатель "цветность" в период с марта 2014 г. по март 2017 г. претерпевал незначительные изменения и в основном отсутствовал. Водородный показатель за весь контролируемый период претерпевал незначительные изменения от 6,3 до 8,98.

Контроль показателя "нитрат-ионы" осуществлялся с мая 2014 г. по март 2017 г. и за год претерпевал значительные изменения. В мае и июне 2014 г. концентрации нитратов в воде родника в п. Причальное составили 0,97 ПДК и 0,4 ПДК соответственно, а в остальной период присутствовали в следовых количествах.

Показатель "фосфат-ионы" в мае 2014 г. составил 2,3 ПДК, а в июне 2014 г. – 1,7 ПДК, в другие месяцы присутствовал в воде в небольших количествах (рис. 2).

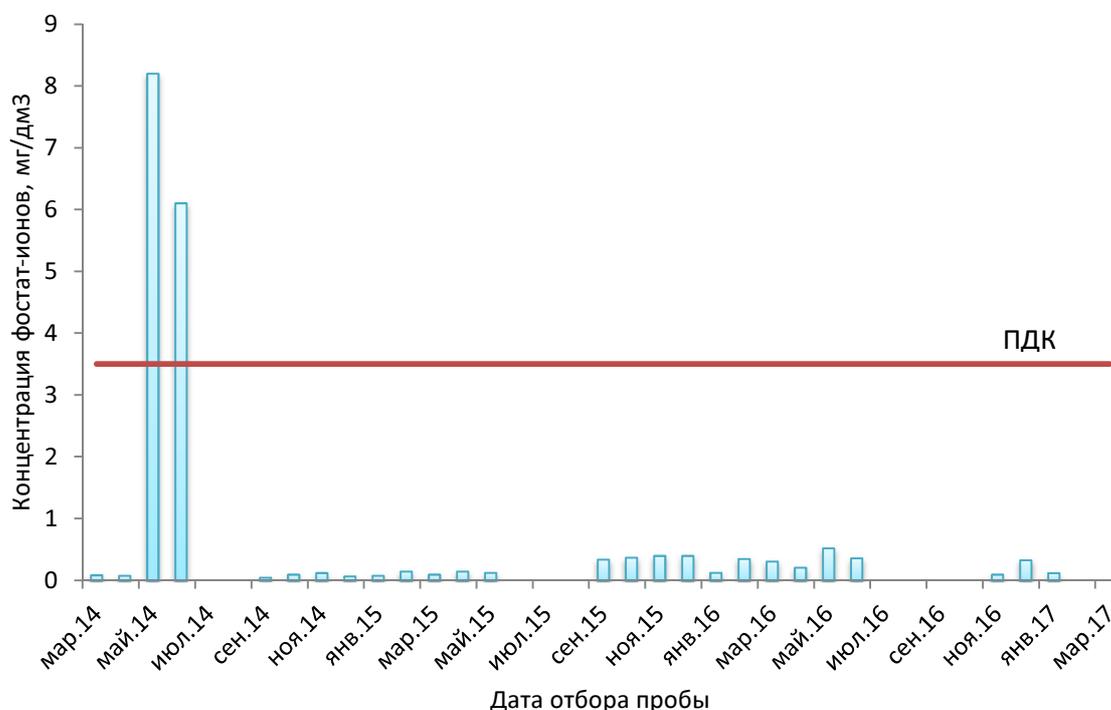


Рисунок 2 – Изменение концентрации фосфат-ионов в пробах воды из родника в п. Причальное (Мурмаши-3)

Нитрит-ионы, хлорид-ионы, сульфат-ионы, ПОК, общая щелочность, общее железо, общая жесткость находились в воде родника в п. Причальное в пределах нормативов.

Полученные данные о качестве родниковой воды п. Причального позволяют сделать выводы об ухудшении качества родниковой воды в периоды паводков и интенсивных выпадений осадков. В первую очередь это может быть связано с инфильтрационной природой родниковых вод, во-вторых, с тем, что состав почв оказывает влияние на химический состав родниковой воды, поскольку грунтовые воды находятся в непосредственном контакте с подстилающими породами.

К факторам, обуславливающим низкое качество воды нецентрализованных источников водоснабжения можно отнести следующие:

- низкая защищенность водоносных горизонтов от загрязнения с поверхности территорий;
- несвоевременное проведение технического ремонта, очистки и дезинфекции колодцев и каптажей.

Подземные воды находятся в постоянном контакте с различными компонентами окружающей среды и их качество напрямую зависит от сложных физико-химических процессов, возникающих в результате этих контактов. Изменение качества подземных вод в результате загрязнения особенно заметно в промышленных регионах и в районах интенсивного применения химических удобрений и представляет собой огромную опасность для водоснабжения области. В таких условиях весьма актуальна проблема охраны подземных вод от техногенного загрязнения.

Родниковая вода, качество которой не подвергается постоянному контролю, может быть причиной различных заболеваний. Специальное оборудование родников для изъятия воды не является гарантом их безопасности и чистоты.

Библиографический список

1. Развитие водоснабжения, санитарии и гигиены: ВОЗ. – 2014 [Электронный ресурс]. Дата обновления: 13.06.2014. URL: http://www.who.int/water_sanitation_health/hygiene/ru/ (дата обращения 23.01.2017).

2. СанПиН 2.1.4. 1074-01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. – Введ. 2002-09-26. – М. : Минздрав России, 2001.

3. СанПиН 2.1.4. 1175-02. Гигиенические требования к качеству воды нецентрализованного водоснабжения. Санитарная охрана источников. – Введ. 2002-11-25. – М. : Департамент Госсанэпиднадзора Минздрава России, 2002.

4. Буймова, С. А. Комплексная оценка качества родниковых вод на примере Ивановской области / С. А. Буймова, А. Г. Бубнов ; под ред. А. Г. Бубнова ; Иван. гос. хим.-технол. ун-т. – Иваново, 2012. – 463 с.

5. Информационно-аналитический бюллетень. Качество питьевой воды в мониторинговых точках Кольского района по данным социально-гигиенического мониторинга за 2013–2015 гг. – Мурманск, 2016. – 10 с.

Перспективные технологии реабилитации нефтезагрязненных почв в Арктической зоне

Горбовская Т. Д., Васильева Ж. В. (г. Мурманск, ФГБОУ ВО "Мурманский государственный технический университет", кафедра экологии, инженерных систем и техносферной безопасности, e-mail: gorbovskaya94@yandex.ru)

Аннотация. Проанализированы современные методы реабилитации нефтезагрязненных почв с использованием ресурсного потенциала отходов различных видов промышленности. Исследована возможность использования биосорбентов на основе отходов производств Мурманской области для реабилитации загрязненных мазутом почв в условиях Арктического климата.

Abstract. Modern methods of rehabilitation of oil contaminated soils using the resource potential of various types of industry are analyzed. The possibility of using biosorbents on the basis of waste products from the Murmansk region for the rehabilitation of soil contaminated with fuel oil in the Arctic climate is investigated.

Ключевые слова: нефть, реабилитация нефтезагрязненных почв, биосорбенты, фитотестирование.

Key words: oil, rehabilitation of oil-contaminated soils, biosorbents, phytotesting.

Проблема снижения уровня нефтяного загрязнения и очистки нефтезагрязненных почв является одной из актуальнейших проблем охраны окружающей среды. Особую значимость она приобретает для очистки почв в условиях арктического климата. Уязвимые экосистемы Арктической зоны особенно чувствительны к нефтяному загрязнению. На сегодняшний день существует множество технологий, применяемых для обезвреживания почвы, загрязненной нефтью и нефтепродуктами.

Одним из широко распространенных физико-химических методов очистки нефтезагрязненных земель является сорбция. Такой метод основывается на использовании различных сорбентов, которые поглощают нефть и нефтепродукты.

Наиболее перспективным видом сорбентов для ликвидации нефтяных загрязнений являются природные сорбенты. Использование природных сорбентов, которые не являются ксенобиотиками для экосистем, наиболее экологически и экономически рационально. Простая технология подготовки, низкая стоимость вместе с высокими сорбционными свойствами дают возможность эффективной очистки почвы от нефтепродуктов.

Необходимость проведения исследований, направленных на получение новых видов биосорбентов и обоснование их использования в качестве альтернативы традиционным технологиям, представляет собой актуальную экологическую задачу. Также, необходимо сконцентрироваться на поиске новых видов биосорбентов с возможностью использования ресурсного потенциала различных отходов, и тем самым снизить негативное воздействие отходов на объекты окружающей среды [1].

В последние годы разработано множество перспективных методов биоремедиации почв при помощи органических компонентов отходов различных видов промышленности.

Например, основным продуктом утилизации больших объемов отходов переработки ракообразных, является хитин, который вследствие плохой растворимости не находит широкого применения. При нагреве хитина с химическим раствором образуется хитозан, который имеет некоторые преимущества по сравнению с хитином, так как он растворим в воде. Хитозан широко применялся для очистки нефти и нефтепродуктов сточных вод. На текущий момент имеются данные о применении хитозана для очистки нефтезагрязненных почв.

Так, авторами [2] был предложен эффективный способ извлечения нефтепродуктов биосорбентами из загрязненной почвы. По результатам проведенных исследований можно отметить, что хитозан эффективно очищает почву, благодаря наличию в макромолекуле сорбента свободных аминогрупп. Преимуществом является то, что при внесении в почву хитозана в качестве сорбента его не надо собирать и утилизировать, поскольку он способен подвергаться ферментной деструкции, повышая уровень природного почвенного углерода [2].

Одной из современных разработок является способ биоремедиации нефтезагрязненных почв [3], основанный на применении органических компонентов отходов пивоварения, которые оказывают комплексное воздействие на почву и загрязняющие вещества. Метод заключается в использовании пивных органических компонентов отходов пивоваренной промышленности (пивной дробины), которые оказывают комплексное воздействие на загрязненную почву: улучшают физико-химические характеристики почвы; ускоряют процесс удаления загрязняющих веществ за счет внесения углеводородокисляющих микроорганизмов и стимулирования активности аборигенных

микроорганизмов почвы [3]. Особым преимуществом данной технологии биоремедиации загрязненных почв является отсутствие в органических компонентах отходов пивоварения токсичных веществ, патогенных микроорганизмов и яиц гельминтов.

Среди современных разработок также известен метод биоремедиации нефтезагрязненных почв органическими компонентами отходов лесозаготовительной промышленности [4]. Результаты проведенных исследований свидетельствуют о том, что опил сосновый крепко связывается с тяжелыми фракциями углеводородов нефти, и предотвращает их миграцию в другие компоненты окружающей среды в результате испарения и вымывания. Внесение его в состав загрязненных нефтью почв, позволяет обеспечить сорбцию углеводородов нефти, и предотвратить миграцию нефтяного загрязнения, как на незагрязненные территории, так и в другие компоненты окружающей среды. [3].

Несмотря на широкий спектр исследований в области поиска природных биосорбентов для ликвидации нефтяных загрязнений, проблема очистки нефтезагрязненных почв с помощью биосорбентов не решена и является актуальной.

Целью настоящего исследования являлся анализ и исследование эффективности использования биосорбентов на основе отходов производств Мурманской области для реабилитации загрязненных мазутом почв в условиях Арктического климата.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

- Отбор биосорбентов для проведения исследования;
- Оценка эффективности реабилитации нефтезагрязненных почв выбранными для исследования биосорбентами инструментальным методом с использованием анализатора жидкости "Флюорат-02";
- Анализ эффективности реабилитации нефтезагрязненных почв выбранными для исследования биосорбентами методом оценки изменения фитотоксичности почвы в процессе ее реабилитации.

Исследованиям подвергалась почва, загрязненная мазутом (концентрацией 30 г/кг) марки Флотский Ф-5 (ГОСТ 10585-99). Этот вид мазута имеет большую вязкость, температуру застывания, зольность и калорийность. Флотские мазуты достаточно часто используются на Кольском полуострове и представляют значительную сложность при очистке почв из-за своих характеристик.

В качестве биосорбентов были использованы: обезвоженный избыточный активный ил из вторичных отстойников сооружений биологической очистки предприятия ООО "Птицефабрика Мурманская" (далее по тексту – АИ); дрожжи свежие прессованные как аналог остаточных пивных дрожжей пивоваренного производства (далее по тексту – дрожжи); хитозан, полученный в результате научно-исследовательской работы по утилизации отходов переработки краба камчатского (*Paralithodes camtschaticus*). Биосорбенты в загрязненную почву вносились в концентрации 20 г/кг. Исследуемые образцы почв выдерживались при температурах от 10 до 18 °С, имитирующих температурные режимы летних месяцев на Кольском полуострове.

Эффективность реабилитации загрязненных мазутом почв оценивалась инструментальным методом и методом оценки фитотоксичности почв согласно ИСО 11269-1, ISO 11269-2 в модификации (Лисовицкая О. В., Терехова В. А., 2010) [5]. Содержание нефтепродуктов в почве НП измерялось согласно ПНД Ф 16.1:2.21-98 флуориметрическим методом с использованием анализатора жидкости "ФЛЮОРАТ-02".

Для проведения фитотестирования в качестве тест-объектов использовались согласно стандарту ISO 11269-2 как однодольные семена культур – овёс (*Avena sativa L.*) и пшеница (*Triticum spp.*), так и двудольные – кресс-салат (*Lepidium sativum*) и редис (*p.Raphanus*). Для проведения оценки фитотоксичности почв, семена исследуемых тест-объектов проращивались непосредственно на исследуемой почве. В качестве контроля использовалась почва, загрязненная нефтепродуктом, без внесения сорбентов (далее по тексту – НП). Контейнеры с семенами в течение 3 суток выдерживались в темном месте, а затем экспонировались на свету в течение 5 суток. По окончании срока экспозиции были получены цифровые изображения, которые обрабатывались при помощи программы AutoCAD. Оценку фитотоксичности нефтезагрязненных почв проводили по следующим морфометрическим параметрам: высота и масса надземной части побега. Массу проростков определяли при помощи аналитических весов с точностью до 4го знака после запятой. Полученные данные использовали для дальнейшей статистической обработки.

Анализ снижения содержания нефтепродуктов в почве (рис. 1) в течение первой и второй недели показал значительное снижение содержания нефтепродуктов в первые недели, как в контрольном образце, так и в образцах, содержащих биосорбенты. По-видимому, это связано с первой фазой дегра-

дации нефтепродуктов – испарением легких фракций мазута. Однако, очевидно, что деградация нефти в образцах, содержащих хитозан и дрожжи, происходит более активно, так снижение концентрации нефти в этих образцах почвы составило 6,75 г/кг и 7,66 г/кг соответственно, при этом в контрольной пробе содержание нефти составило 9,28 г/кг. Активный ил в качестве биосорбента на этапе второй недели показал снижение динамики сорбции нефтепродуктов.

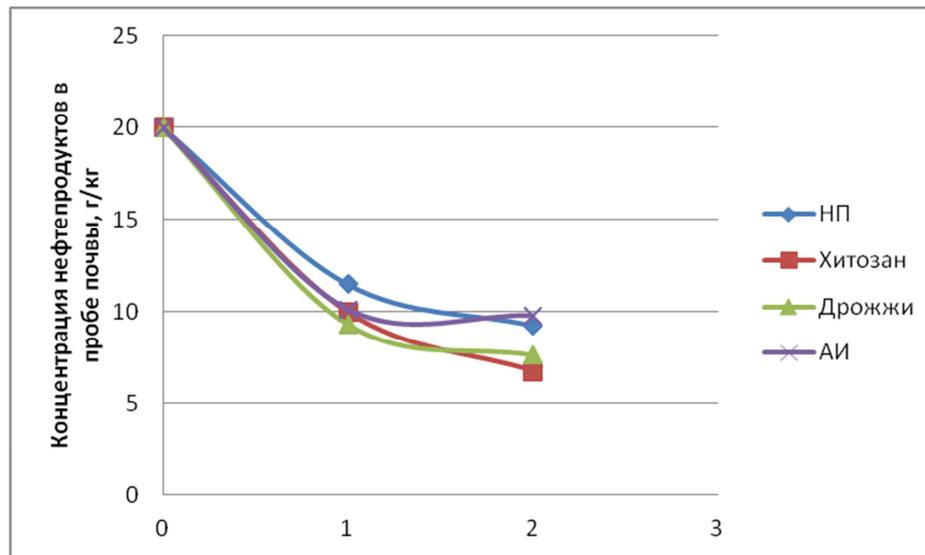


Рисунок 1 – Динамика снижения содержания нефтепродуктов в почве в процессе реабилитации с помощью биосорбентов

Анализ результатов фитотестирования позволяет также отметить положительную динамику применения для снижения уровня нефтяного загрязнения почвы биосорбентов. Так, например, при оценке такого морфометрического параметра как длина проростков (рис. 2), можно отметить наименьшую токсичность образцов почв с применением биосорбента хитозана (наибольшую отзывчивость показали тест-культуры: овес, пшеница, кресс-салат). При анализе массы проростков (рис. 3) можно отметить также снижение концентрации нефтепродуктов в образцах почвы с дрожжами (тест-культуры: пшеница, кресс-салат) и избыточным активным илом (тест-культура: овёс).

Полученные результаты исследования показывают эффективность использования биосорбентов на основе отходов производств Мурманской области для реабилитации загрязненных мазутом почв в условиях Арктического климата. Прделанная работа позволяет сделать вывод о том, что данный подход позволяет использовать ресурсный потенциал отходов, применить

их в процессе очистки нефтезагрязненных почв, и, тем самым снизить и негативное воздействие отходов на объекты окружающей среды.

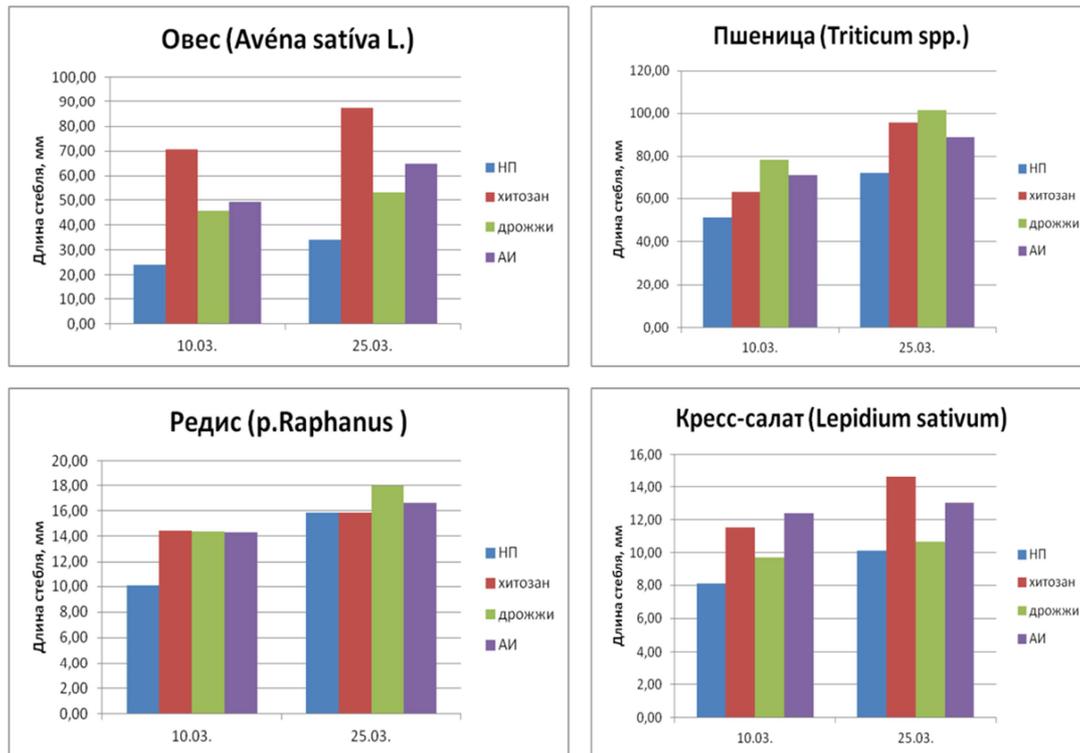


Рисунок 2 – Полученные данные по длине стебля растительных тест-объектов

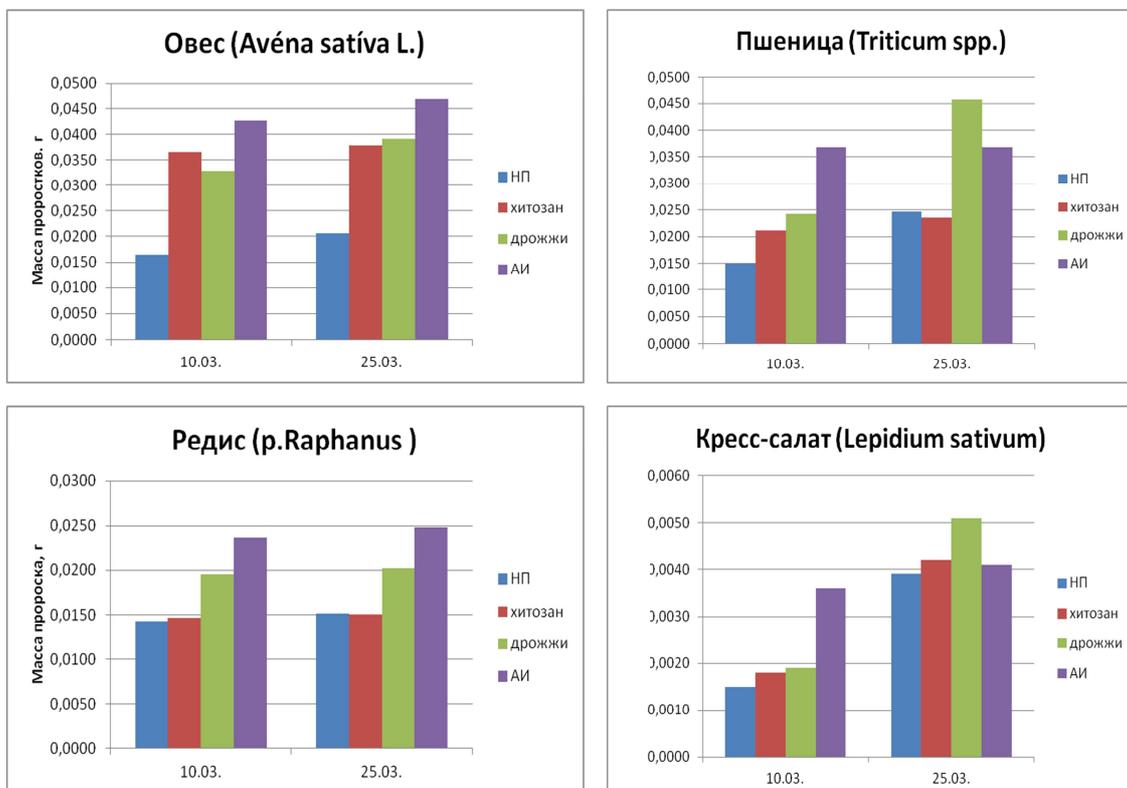


Рисунок 3 – Полученные данные по массе стебля растительных тест-объектов

Библиографический список

1. Белик, Е. С. Интенсификация технологии биоремедиации нефтегрязненных почв с помощью биосорбента на основе карбонизата / Е. С. Белик // Вестн. ПНИПУ. Прикладная экология. Урбанистика. – 2014. – № 3 (15). – С. 127–139.
2. Кокорина, Н. Г. Эффективный способ очистки почв от нефтепродуктов / Н. Г. Кокорина, А. А. Околелова, А. Б. Голованчиков // Плодородие. – 2009. – № 6. – С. 51 – 53.
3. Руденко, Е. Ю. Биоремедиация нефтезагрязненных почв органическими компонентами отходов пищевой (пивоваренной) промышленности: диссертация доктора биологических наук: 03.02.08; [Место защиты: ФГБОУ ВПО "Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых"] – Владимир, 2015. – 352 с.
4. Шигапов, А. М. / Биоремедиация нефтезагрязненных почв органическими компонентами отходов лесозаготовительной промышленности (на примере дерново-подзолистых почв Уральского федерального округа): дис. ... канд .биол. наук: 30.02.08. – Екатеринбург, 2016 – 252 с.
5. Лисовицкая, О. В. Фитотестирование: основные подходы, проблемы лабораторного метода и современные решения / О. В. Лисовицкая, В. А. Терехова // Доклады по экологическому почвоведению. – 2010. – №1. – С. 1–18.

Применение резиновой крошки в качестве сорбента при аварийных разливах нефти на трубопроводах Арктического шельфа

Карандашев С. Е., Широнина А. Ю. (*г. Мурманск, ФГБОУ ВО "Мурманский государственный технический университет", кафедра экологии, инженерных систем и техносферной безопасности*)

Аннотация. В статье рассматривается возможность применения резиновой крошки, продукта отработанных автомобильных шин, в качестве сорбента. Сорбент планируется использовать для ликвидации аварийных разливов нефтепродуктов, как на суше, так и на водных объектах. Приоритетным регионом для использования данного сорбента будут являться северные широты, а именно Арктическая зона.

Annotation. This article examines the possibility of using crumb rubber product waste tires, as a sorbent. The sorbent will be used for spill, both on land and on water bodies. A priority area for the use of the sorbent will be the northern latitudes, namely the Arctic area.

Ключевые слова: Арктика, нефть, сорбент, резиновая крошка, покрышки, экология.

Key words: Arctic, oil, sorbent, crumb rubber, tires, ecology.

Использование нефти и нефтепродуктов – это явление, без которого сложно представить современный мир, и спрос на этот вид ископаемого топлива продолжает увеличиваться из года в год. По данным Федеральной службы государственной статистики в настоящее время объем добычи нефти составляет более 450 млн т в год, при этом на переработку поступает более 250 млн т, а остальное идет на экспорт [1].

При таком большом объеме использования и добычи нефтепродуктов не обходится без аварий, связанных с разливом нефтепродуктов, как на водных объектах, так и на суше, что наносит большой вред поверхностному слою почвы, поверхностным и грунтовыми водам. Нефтяные разливы подвергают опасности здоровье людей и ставят под угрозу существование целых экосистем.

В соответствии с законодательством Российской Федерации, разливы нефти и нефтепродуктов являются чрезвычайными ситуациями и их последствия подлежат ликвидации [1].

Локализация и ликвидация разливов нефти и нефтяных продуктов являются многофункциональным комплексом задач, и должны выполняться с привлечением специальных технических средств и реализацией различных методов ликвидации разливов нефтепродуктов.

Использование технических средств ликвидации разливов нефти зависит от характера аварийного разлива. Первичными мерами по устранению аварийного разлива является локализацию нефтяных пятен, для избегания дальнейшего распространения и загрязнения соседних участков и уменьшения загрязненных площадей [2].

Одним из таких способов ликвидации разливов нефти и нефтяных продуктов является использование сорбентов. В настоящее время в мире существует около 200 видов различных сорбентов. В качестве сорбентов используются глина, древесная стружка, уголь бурый гуминовый, пенополистирол гранулированный, капрон, резиновая крошка и т. д. [3]. Существует множество классификаций сорбентов, однако основным различием является принцип их действия: адсорбенты и абсорбенты.

Адсорбенты – это материалы, для которых характерен процесс поглощения, или "связывания", нефти путем физической поверхностной адсорбции. Явление адсорбции возникает из-за наличия взаимного притяжения между молекулами адсорбента и нефти на границе раздела соприкасающихся фаз.

Абсорбенты – это материалы, для которых характерен диффузионный процесс поглощения нефти и нефтепродуктов всем своим объемом. Эффективность данного процесса зависит от химического родства материалов сорбентов и впитываемой жидкости, а также от структуры вещества абсорбента.

При разработке сорбента необходимо учитывать следующие критерии [4]:

- 1) его эффективность;
- 2) величину относительно сорбции, характеризующую отношение массы нефтепродукта, связанного сорбентом, к массе самого сорбента;
- 3) коэффициент распределения, учитывающий степень распределения нефтепродукта между сорбентом и раствором;
- 4) стоимость, доступность, сезонность и срок годности сырья, используемого при производстве сорбентов;
- 5) возможность применения в качестве сырья вторичных материальных ресурсов-отходов, существующих "грязных" производств и превращения их в малоотходные с замкнутым циклом;
- 6) соблюдение экологической чистоты производства сорбентов;
- 7) технологичность операций производства сорбентов;
- 8) транспортные затраты на доставку сырья, материалов и сорбентов к месту их использования, зависящие от емкости сорбентов и возможности использования местного регионального сырья при производстве сорбентов;

9) транспортные расходы на доставку использованных сорбентов к месту их утилизации или переработки;

10) затраты на переработку, утилизацию, захоронение использованного сорбента;

11) экологическую безопасность процессов переработки использованных сорбентов.

При оценке эффективности сорбентов обычно руководствуются тремя критериями: нефтеемкостью, влагоемкостью и плавучестью. Оценка эффективности может быть определена согласно ТУ 214-10942238-03-95 [5].

В качестве сорбента может быть использована резиновая крошка, полученная путем переработки автомобильных шин.

Использование резиновой крошки в качестве сорбента имеет несколько очевидных преимуществ.

Во-первых, как уже было сказано выше, это сырье является продуктом переработки автомобильных шин, что соответственно снизит количество этого вида отходов на свалках, полигонах и т. п.

Во-вторых, нет необходимости извлекать из окружающей среды данное сырье, не нанося тем самым экологический ущерб.

В-третьих, есть возможность использования отработанного сорбента, в сфере дорожного строительства, например в качестве добавки в битумную смесь, что позволит сэкономить на его утилизации или захоронении.

В-четвертых, возможна разработка схемы процесса регенерации сорбента, что соответственно позволит использовать его несколько раз.

Регенерацию можно осуществить проведением операции сжатия с помощью отжимного катка или отжимной машины (как в системах скиммеров) либо центрифугированием или экстракцией растворителем. Сжатие обычно представляет собой самый практичный вариант [5].

Один из известных способов получения сорбента из резиновой крошки происходит в пиролизной камере при термическом разложении шин путем охлаждения остатка в нижней части пиролизной камеры от температуры пиролиза 450–500 до 150–200 °С с подачей воды, его выгрузки и дальнейшей обработки грануляцией со связующими (в качестве связующего используется смесь фусов с пековым дистиллятом и смолой карбонизации), карбонизацией гранулированного продукта без доступа воздуха при температурах 300–800 °С для удаления влаги и смолы карбонизации, активацией водяным паром и топочными газами[6].

Такой способ и схожие с ним сложны и многостадийны, так как требуют после выгрузки из пиролизной камеры значительных дополнительных затрат на обработку углеродного остатка для получения эффективного адсорбента: грануляция, карбонизация и активация.

На кафедре экологии инженерных систем и техносферной безопасности Мурманского государственного технического университета ведутся научные изыскания по вопросу оптимизации процесса получения сорбента для ликвидации разливов нефти из резиновой крошки отработанных автомобильных шин.

На данный момент проведены испытания по определению характеристик резиновой крошки в качестве сорбента, а именно такие как: плавучесть, нефтеемкость, водопоглощение, общее поглощение (вода + загрязнитель). Данные характеристики определялись в сравнении с различными комбинациями резиновой крошки.

На рис. 1 представлено сравнение плавучести разных комбинаций сорбентов. Плавучесть является одной из самых важных характеристик сорбента, по ней определяется возможность использования сорбента на водной поверхности.

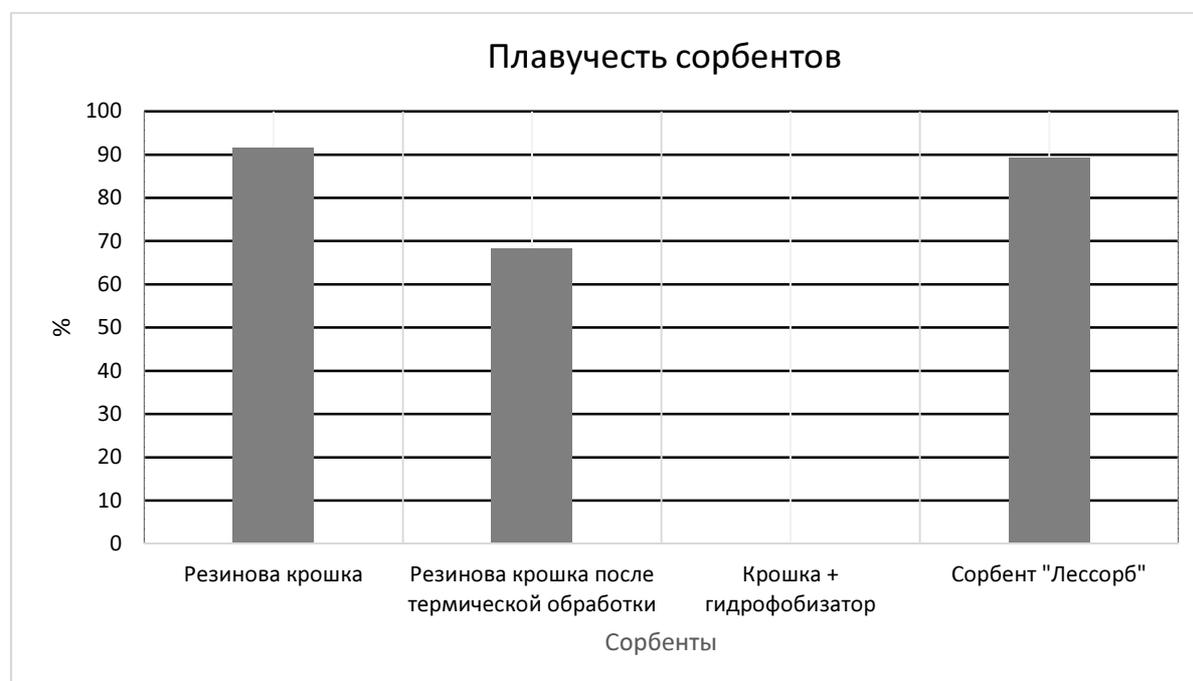


Рисунок – 1 сравнительная диаграмма плавучести сорбентов

Библиографический список

1. ЭКОС [Электронный ресурс]/ Компания "Экос". Режим доступа: <http://www.ekos.su/stok.html>(дата обращения 15.03.2016).

2. Постановление Правительства РФ от 14 ноября 2014 г. № 1189 "Об организации предупреждения и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов на континентальном шельфе Российской Федерации, во внутренних морских водах, в территориальном море и прилежащей зоне Российской Федерации" [Электронный ресурс] Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_170969/ (дата обращения 15.03.2016).

3. ЛАРН 32 [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://larn32.ru/article/detail59.htm> (дата обращения 15.03.2016).

4. Волкова, К. Р., Асонов А. М. Использование биотехнологий при восстановлении качества водных объектов, загрязненных нефтепродуктами // Молодые ученые – транспорту : мат. V межвузовской научн. техн. конф. – Екатеринбург, 2005 – Ч. 2. – С. 325–334.

5. Арене, В. Ж., Гридин О. М. Нефтяные загрязнения: как решить проблему / В. Ж. Арене, О. М. Гридин // Экология и промышленность России. – 1999. – № 9.

6. Величко, Б. А., Венсковский Н. У. Био- и фитосорбенты для очистки питьевой воды и промышленных стоков / Б. А. Величко, Н. У. Венсковский // Экология и промышленность России. – 1998. – № 1.

7. Соколов, Э. М. [и др.]. Переработка изношенных шин / Э. М. Соколов // Тула ПЛР №060231 от 20.10.97. 100–105 с.

Системы управления экологической безопасностью прибрежных зон в международной практике

Крашевская А. А., Федорова О. А. (г. Мурманск, ФГБОУ ВО "Мурманский государственный технический университет", кафедра экологии, инженерных систем и техносферной безопасности, e-mail: aleksandrakrashevskaya@gmail.com)

Аннотация. В статье проанализирован иностранный и отечественный опыт внедрения систем комплексного управления прибрежных зон, дана оценка эффективности полученного опыта управления экологической безопасностью.

Abstract. Foreign and domestic experience of coastal zone management implementation is analyzed in this article, assessed the effectiveness of experience gained in environmental safety management.

Ключевые слова: комплексное управление прибрежной зоной, устойчивое развитие, экологическая безопасность, прибрежные зоны, Арктический регион.

Key words: integrated coastal zone management, sustainable development, environmental safety, coastal zones, Arctic region.

Прибрежная зона определена Европейской комиссией, как "зона контакта суши и моря, включающая природные зоны – берега и прилегающие к ним акватории".

До 90-х гг. в процессе управления прибрежными зонами во многих странах преобладало отраслевое управление, относящееся к компетенции министерств на федеральном уровне и соответствующих ведомств исполнительной власти на региональном. Для отраслевого управления характерны вертикальные правовые отношения, так называемые отношения прямой подчиненности между федеральными и локальными уровнями [1].

Впервые вопрос о необходимости перехода от отраслевого управления в рамках многократного использования к системе комплексного управления экологической безопасностью прибрежных зон был рассмотрен на очередной конференции Организации Объединенных Наций (ООН) по морскому праву. Данный вопрос был обусловлен использованием двенадцати принципов устойчивого развития (экосистемного подхода), которые были сформированы и сформулированы на конференции ООН по окружающей среде в 1992 г. в Рио-де-Жанейро [2].

Итогом данной конференции стало не только формирование системы комплексного управления, но и связанный с этим переход к концепции устойчивого развития в целом.

Одним из направлений устойчивого развития являются системы управления экологической безопасностью прибрежных зон, иначе говоря, системы комплексного управления прибрежными зонами (КУПЗ), которые нашли свое практическое применение в мировой практике.

Принятый в 1972 г. Федеральный закон управления прибрежными зонами Соединенных штатов Америки рассматривает специфические правила государственного управления деятельностью физических и юридических лиц в части управления природными ресурсами в пределах прибрежной зоны. Данный закон затрагивает процессы регулирования растущего спроса на энергоресурсы, полезные ископаемые, оборонные, рекреационные, транспортные ресурсы, промышленную деятельность во внутреннем и территориальном морях [3].

Растущая потребность использования прибрежных зон для сброса загрязненных промышленных и хозяйственно-бытовых сточных вод увеличивает антропогенную нагрузку на такие зоны, в связи с чем Законом 1972 г. был предложен механизм межведомственной координации деятельности в пределах прибрежной зоны, включающий программу управления, принимаемую каждым штатом, в соответствии с которым любая деятельность должна пройти процедуру соответствия (совместимости) с каждой конкретной прибрежной зоной.

В рамках нового закона была объявлена добровольная национальная программа, реализуемая Департаментом торговли, для поощрения прибрежных штатов, ведущих разработку и осуществление планов управления прибрежными зонами. Прибрежный штат пройдя процедуру федерального утверждения плана получал грант для его реализации. Для утверждения плана необходимо было определить границы прибрежной зоны, цели хозяйственного использования, механизмы (стандарты, критерии и правила) регулирования, а также приоритетные направления развития прибрежной зоны [4].

В Европейском союзе охрана окружающей среды и переход к комплексному управлению экологической безопасности является одной из главных сфер государственной поддержки. В связи с этим по инициативе Европейской комиссии возникла программа "LIFE+", включающая в себя несколько основных блоков:

– Блок 1 "Природа и биоразнообразие" – включает финансирование деятельности, связанной с охраной редких и вымирающих видов;

– Блок 2 "Политика и менеджмент в сфере окружающей среды" – поддерживает проекты, направленные главным образом на развитие и внедрение новых подходов, технологий и практик в системы управления окружающей средой, финансирует деятельность, связанную с реализацией политики охраны среды и участием общества в управлении и охране окружающей природной среды. В рамках данного блока осуществляются программы КУПЗ.

– Блок 3 "Информация и коммуникация" – направлен на создание кампаний, формирующих общественное сознание, касающееся охраны окружающей среды [5].

С начала реализации проекта "LIFE+" Европейский союз направил государствам-участникам около 2,2 млрд евро на реализацию более 3 000 проектов. В рамках проекта "LIFE+" выполняется около 20 программ по развитию региональных систем КУПЗ в различных странах Европейского союза.

Наиболее удачным примером системы КУПЗ в рамках описанного проекта является опыт Италии. Муниципалитет Червия, расположенный в 20 км от города Равенна и обладающий 9 км прибрежной зоны, включающей в себя пляж, прибрежную мелководную акваторию, соленые болота и сосновые леса, в мае 2009 г. получил международный сертификат экологического менеджмента в соответствие с экологическим стандартом ISO 14001.

Опыт и результаты, полученные в ходе процедуры экологической сертификации применительно к муниципалитету Червия, продемонстрировали действенность системы комплексного управления для улучшения качества окружающей среды и обеспечения устойчивости развития. Постоянное и налаженное взаимодействие с сотрудниками администрации муниципалитета явилось важным условием для успешного прохождения процедуры сертификации. Полученный опыт сертификации также показал, что туризм, находящийся под постоянным планированием, управлением и контролем, может содействовать реализации природоохранных мероприятий, сохранению биоразнообразия и повышению устойчивости развития.

В Германии стратегия внедрения систем КУПЗ базируется на увеличении процента информированных граждан, вовлеченных в процесс внедрения КУПЗ. Поднимается вопрос профессиональной подготовки в сфере экологического менеджмента. Проведенный в 2002 г. симпозиум по теме "Низменные приморские территории – гидрология и комплексное управление прибрежной зоной" пришел к выводу о необходимости активизации усилий

в области образования и подготовки кадров в целях улучшения понимания всех процессов в области водных ресурсов, которые играют важную роль в устойчивом развитии приморских территорий, а также усилить координацию осуществления сквозных проектов и мероприятий в области образования и подготовки кадров.

Управление прибрежными зонами Российской Федерации имеет ряд схожих с зарубежной практикой принципов, однако, отлаженный механизм экономического природопользования отсутствует. Существуют отдельные проекты законов и публикации научных статей, которые фокусируются на целесообразности применения региональных или секторных подходов.

Основными объектами КУПЗ в России являются:

- 1) Организация портового хозяйства;
- 2) Туристическая деятельность;
- 3) Прочая хозяйственная деятельность, использующая прибрежные природные ресурсы.

Для прибрежных зон Российской Федерации характерно "очаговое" развитие – неравномерность в использовании, неравномерность распределения приоритетных видов деятельности.

Санкт-Петербург является одним из крупнейших городов Российской Федерации со значительной береговой зоной в Балтийском море. Прибрежная зона города подвержена интенсивному использованию природных ресурсов несколькими видами хозяйственной деятельности, являющимися основными прямыми водопользователями: морские порты, судостроительные предприятия, рекреационные комплексы, система водопользования, и т. д. [6].

В качестве решения проблемы совместного использования прибрежной зоны Санкт-Петербурга и перехода к системе КУПЗ была предложена разработка эффективных законных актов, главная цель которых – финансирование региональными властями затрат, направленных на экологически устойчивое развитие и охрану прибрежных зон, в том числе, сохранение биоразнообразия. Региональным властям необходимо поддерживать мониторинг прибрежных зон и контроль хозяйственной деятельности, осуществляемой в этих зонах.

Информация о применении и оценке эффективности данной схемы управления экологической безопасностью прибрежных зон в открытом доступе отсутствуют, что затрудняет формулирование выводов по отечественному опыту внедрения КУПЗ.

В целом, не смотря на широкий опыт применения систем управления экологической безопасностью прибрежных зон, наличие конкретных учреждений управления прибрежными зонами в полной мере не обеспечивает крепкие международные связи в данной области, что препятствует координации действий и обмену полученным опытом. Кроме того, многие страны-участницы отходят от принципов комплексности и междисциплинарности и переходят к самостоятельному отраслевому управлению (в частности, в энергетике) [7].

Тем не менее, план мероприятий по реализации стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2020 г., утвержденный Председателем Правительства Российской Федерации в октябре 2013 г., включает в себя разработку и апробацию пилотных моделей комплексного управления прибрежными зонами в Арктических регионах, а также мероприятия направленные на соблюдения экологической безопасности прибрежных зон (развитие арктического туризма и расширение экологически безопасных видов туристской деятельности в Арктике, разработка и реализация комплекса мер по созданию и развитию эффективной системы обращения с отходами производства и потребления и т. д.).

Таким образом, разработка эффективной системы комплексного управления прибрежных зон, адаптированной к климатическим и экологическим условиям Крайнего Севера является актуальной проблемой, решение которой позволит обеспечить экологическую безопасность и устойчивое развитие при освоении ресурсов Арктического региона.

Библиографический список

1. Дворцова, Е. Н. Международные национальные аспекты правовой базы при освоении прибрежных территорий России [Текст] / Е. Н. Дворцова // Российский внешнеэкономический вестник. – 2010. – № 11. – С. 24–26.
2. Carlos Molinet, Edwin J. Niklitschek, Susana Coper Challenges for coastal zoning and sustainable development in the northern Patagonian fjords (Aysen, Chile) [Text] / Latin American Journal of Aquatic Research. – 2014. – № 42. – P. 18–29.
3. Закон об управлении прибрежными зонами [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://dic.academic.ru> (дата обращения 12.11.2016). – Загл. с экрана.

4. Digest of Federal Resource Laws of Interest to the U.S. Fish and Wildlife Service [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.fws.gov> (дата обращения 18.12.2016). – Загл. с экрана.

5. European Committee LIFE+ [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://ec.europa.eu/environment/life/funding/lifeplus.htm> (дата обращения 18.12.2016). – Загл. с экрана.

6. Прибрежные и туристические зоны [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.veoliawatertechnologies.ru/municipalities/coastal/> (дата обращения 19.12.2016). – Загл. с экрана.

7. Дворцова, Е. Н. Прибрежные территории: зарубежный опыт хозяйственного освоения и управления [Текст] / Е. Н. Дворцова // Российский внешнеэкономический вестник. – 2010. – № 7. – С. 13–17.

Инновационные подходы переработки липидсодержащих рыбных отходов

Куркотило В. Н., Васильева Ж. В. (г. Мурманск, ФГБОУ ВО "Мурманский государственный технический университет", кафедра экологии, инженерных систем и техносферной безопасности, e-mail: vkurkotilo@yandex.ru)

Аннотация. Проанализированы современные методы получения биологически активных веществ с использованием ресурсного потенциала отходов рыбной промышленности. Произведен сравнительный анализ традиционной и инновационной технологий получения рыбного жира. Обоснованы принципиальные технологические решения по изготовлению биологически активной добавки на основе рыбного жира из отходов переработки гидробионтов.

Abstract. Modern methods of obtaining biologically active substances with the use of the resource potential of fish industry waste are analyzed. A comparative analysis of traditional and innovative technologies for the production of fish oil is made. Substantiated technological solutions for manufacturing a biologically active additive based on fish oil from waste from processing hydrobionts.

Ключевые слова: биологически активные вещества, рыбные отходы, гидробионты, рыбный жир.

Key words: biologically active substances, fish waste, hydrobionts, fish oil.

В настоящее время в Мурманске функционирует более 50 рыбоперерабатывающих предприятий [1]. Анализ объема отходов переработки рыбы нашего региона с использованием [2] и [3] показал высокую потребность региона в развитии технологий переработки вторичных ресурсов на основе рыбного сырья.

Переработка липидсодержащих отходов рыбной промышленности может быть направлена на получение ценных продуктов: рыбного силоса, концентратов ПНЖК, рыбного жира, концентрата витаминов, кормового рыбного гидролизата, биодизеля и заменителя молока для животных и другие.

Традиционное направление переработки рыбных отходов – это кормовая продукция. Кормовые продукты подразделяются на несколько видов: кормовые гидролизаты, рыбный силос, заменители молока, жироминеральный концентрат и белково-жировая эмульсия, пеномасса, рыбный жир.

Одним из инновационных направлений переработки липидсодержащих отходов является получение биологически активных добавок на основе рыбного жира. Известно, что рыбный жир является ценным источником не синте-

зируемых в организме $\omega 3$ полиненасыщенных жирных кислот ($\omega 3$ ПНЖК), которые нормализуют жировой обмен, способствуют выведению из организма избытка холестерина, являются жизненно необходимыми для функций мозга и глаз, обладают высокой противовоспалительной активностью и иммуностимулирующими свойствами [4, 5, 6].

Задача исследования состояла в сравнительном анализе, выборе и адаптации существующих технологий в области переработки липидсодержащих отходов для получения биологически активной добавки на основе рыбного жира.

Существует несколько способов получения рыбного жира: кислотный гидролиз рыбного фарша, экстракция, варка с прессованием, высокотемпературное вытапливание и ферментативный гидролиз, но в качестве базового способа получения биологически активного препарата была выбрана технология, основанная на высокотемпературном вытапливании и малоиспользуемая, но потенциально более приемлемая технология, основанная на ферментативном гидролизе.

В качестве сырья для проведения исследований использованы отходы переработки сельди (*Clupea harengus*), одной из промысловых рыб Мурманского региона.

В работе использованы современные методы физико-химических и органолептических исследований с применением математической обработки результатов экспериментальных работ. Определение оптимальных технологических параметров получения рыбных жиров осуществляли путем моделирования процесса методом математического планирования эксперимента с применением ортогонального центрального композиционного плана (ОЦКП) второго порядка для двух факторов [7]. Построение графических зависимостей осуществляли с помощью программ Microsoft Office Excel 2007, Statistica 12.0. Полученный липидный препарат подвергался исследованиям по показателям безопасности и органолептической оценке в соответствии с требованиями СанПин 2.3.2.1078-01 [8] и Технический регламент Таможенного союза. О безопасности пищевой продукции [9].

В процессе эксперимента по извлечению липидных концентратов в соответствии с принятым ОЦКП были получены результаты, отражающие зависимость физико-химических показателей полученного из рыбных отходов концентрата, от влияющих факторов X_1 и X_2 . Планы экспериментов и результаты их реализации представлены в табл. 1, 2.

Таблица 1 – Результаты реализации эксперимента по моделированию и оптимизации технологии высокотемпературного вытапливания

Номер опыта	План эксперимента				Частные отклики			Обобщенный показатель качества, Y
	Температура вытапливания		Время вытапливания		Кислотное число, мг КОН/ г жира	Перекисное число, моль активного кислорода/г	Выход, %	
	По матрице (x ₁)	В натуральном выражении, °С	По матрице (x ₂)	В натуральном выражении, мин				
1	-1	50	-1	100	4,7	1,4	6	0,16
2	0	60	0	120	7,1	3,9	8	0,26
3	+1	70	+1	140	10,0	9,9	13	0,28
4	-1	50	+1	140	6,5	5,9	9	0,15
5	0	60	-1	100	5,8	1,9	15	0,40
6	+1	70	0	120	8,5	7,4	8,5	0,20
7	-1	50	0	120	5,1	2,8	7,5	0,13
8	0	60	+1	140	7,9	6,4	9	0,32
9	+1	70	-1	100	7,4	1,4	12	0,38

Таблица 2 – Результаты реализации эксперимента по моделированию и оптимизации технологии ферментативного гидролиза

Номер опыта	План эксперимента				Частные отклики			Обобщенный показатель качества, Y
	Время ферментализации, мин		Количество фермента, мг		Кислотное число, мг КОН/ г	Перекисное число, моль активного кислорода/г	Выход, %	
	По матрице, x ₁	В натуральном выражении	По матрице, x ₂	В натуральном выражении				
1	-1	60	-1	15	4,6	2,1	35,6	0,19
2	0	80	0	20	4,7	1,8	26,6	0,16
3	+1	100	+1	25	3,5	3,2	31,2	0,15
4	-1	60	+1	25	2,5	0,5	38	0,29
5	0	80	-1	15	4,6	2,2	28,4	0,17
6	+1	100	0	20	5,5	5,1	29,8	0,13
7	-1	60	0	20	2,0	0,3	46,5	0,37
8	0	80	+1	25	5,2	2,8	31,1	0,23
9	+1	100	-1	15	7,2	3,7	26,8	0,31

"Идеалы" частных безразмерных откликов, Y₀ приняты по нормативным значениям согласно "ТР ТС 021/2011.Технический регламент Таможенного союза. О безопасности пищевой продукции" [9], в соответствии с кото-

рыми допустимый уровень кислотного числа для рыбных жиров не более 4 мг КОН/ г жира, допустимый уровень перекисного числа для рыбных жиров не более 10 моль активного кислорода/г; выход рыбного жира составляет 100 %. Вес и-го отклика для кислотного числа принимали a_i составляет 0,3, для перекисного числа a_i составляет 0,2, для выхода рыбного жира a_i составляет 0,5.

Опираясь на полученные данные, были построены графики зависимости обобщенного параметра качества липидного продукта от варьируемых параметров (рис. 1, 2).

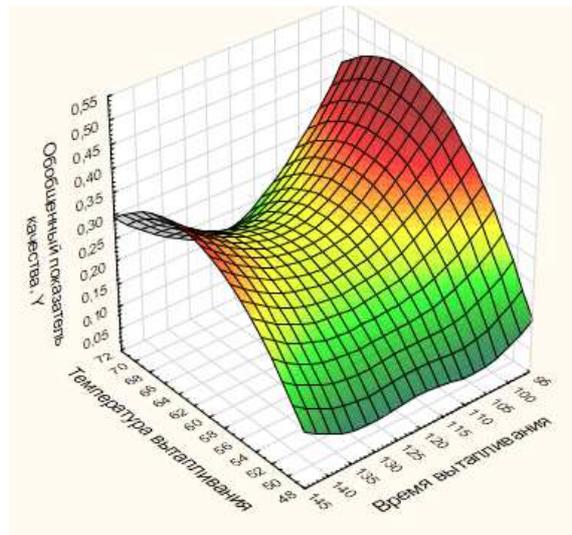


Рисунок 1 – Зависимость обобщенного показателя качества эксперимента по получению рыбного жира технологией высокотемпературного вытапливания от варьируемых параметров X_1 (температура вытапливания) и X_2 (время вытапливания)

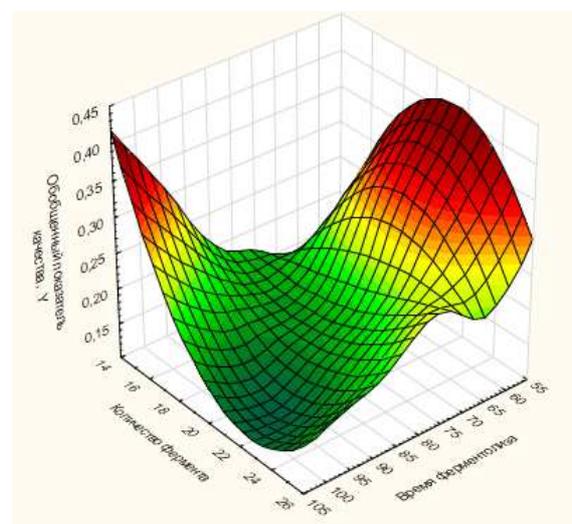


Рисунок 2 – Зависимость обобщенного показателя качества образца рыбного жира, полученного с помощью технологии ферментативного гидролиза от варьируемых параметров X_1 (время ферментации) и X_2 (количество фермента)

Обработка результатов экспериментов показала, что зависимость обобщенного показателя качества рыбного жира, полученного с помощью технологии высокотемпературного вытапливания, от варьируемых параметров X_1 описывается следующим уравнением регрессии:

$$Y = 3,6489 + 0,0268 * x_1 - 0,0702 * x_2 - 0,0005 * x_1^2 - 0,0004 * x_1 * x_2 - 0,0002 * x_2^2,$$

где Y – обобщенный показатель качества;

x_1 – температура вытапливания;

x_2 – время вытапливания.

Зависимость обобщенного показателя качества рыбного жира, полученного с помощью технологии ферментативного гидролиза, описывается следующим уравнением регрессии:

$$Y = -0,4056 + 0,0111 * x_1 + 0,0377 * x_2 + 2,0833E-5 * x_1^2 - 0,0007 * x_1 * x_2 - 0,0003 * x_2^2,$$

где Y – обобщенный параметр качества;

x_1 – время ферментализации;

x_2 – количество фермента.

На основе выполненного анализа качественных характеристик полученного препарата по разным технологиям, в качестве оптимальной технологии, была выбрана технология ферментативного гидролиза, позволяющая с одной стороны наиболее полно выделить жир из липидсодержащих отходов, с другой стороны максимально сохранить все ценные свойства рыбного жира.

Обоснованы принципиальные технологические решения по изготовлению биологически активной добавки на основе рыбного жира из отходов переработки гидробионтов. Внедрение разрабатываемой технологии, позволило бы значительно снизить уровень антропогенной нагрузки на окружающую среду, сократить количество вовлекаемых в эксплуатацию биоресурсов, решить актуальные задачи региона в части обеспечения населения социально значимыми БАД широкого спектра действия.

Библиографический список

1. Береговая рыбопереработка в мурманской области: общее состояние и перспективные направления для развития [Электронный ресурс] URL: <http://helion-ltd.ru/spective-directions-fo-development/>

2. Единые нормы отходов, потерь, выхода готовой продукции и расхода сырья при производстве пищевой продукции из морских гидробионтов" Утв. 29.04.2002 г. – М. : Госкомрыболовство, 2002 – 105 с.
3. Сведения об улове рыбы, добыче других водных биоресурсов и производстве рыбной продукции за январь – декабрь 2014 г. (нарастающим итогом) // Росрыболовство, М., 2015 – 111 с.
4. Байдалинова Л. С., Лысова А. С., Мезенова О. Я. Биотехнология морепродуктов. –2006. – 560 с.
5. GISSI – Prevenzione Investigators. Dietary supplementation with omega-3 polyunsaturated fatty acids and vitamin E after myocardial infarction: results from the GISSI-Prevenzione trial. Lancet 1999;354: 447–455.
6. Васюкова, А. Т. Переработка рыбы и морепродуктов : учеб. пособие [Текст], 3-е изд. : Дашков и К°, 2013. – 104 с.
7. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий [Текст] / Ю. П. Адлер, Е. В. Маркова, Ю. В. Грановский. – М. : Наука, 1976. – С. 32–47.
8. СанПиН 2.3.2.1078-01. Продовольственное сырье и пищевые продукты. Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов. – М. : Минздрав России [и др.], 2002. – 164 с.
9. Технический регламент Таможенного союза "О безопасности пищевой продукции" (ТР ТС – 021 – 2011).

Влияние температуры обжига вермикулита на его сорбционные свойства

Мосендз И. А., Кременецкая И. П., Дрогобужская С. В. (*г. Анапиты, ФГБУН Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И. В. Тананаева КНЦ РАН, e-mail: mosendz@chemy.kolasc.net.ru*)

Аннотация. В работе исследован процесс адсорбции катионов меди и никеля из растворов на природном материале вермикулите. Сравниваются сорбционные свойства термически обработанного вермикулита в зависимости от температуры обжига.

Abstract. The process of adsorption of nickel and copper cations from solutions on natural material vermiculite is investigated. The sorption properties of the thermally modified vermiculite depending on heating temperature are compared.

Ключевые слова: вермикулитовый концентрат, электрическая модульно-спусковая печь, сорбция, медь, никель.

Key words: vermiculite concentrate, electric module-releasing stove, sorption, copper, nickel.

Введение

Производственная деятельность человека сопровождается значительной трансформацией природных экосистем [1], что в большинстве случаев приводит к появлению техногенных пустошей. Масштабность аэротехногенных выбросов, отсутствие экономической целесообразности применения сложных инженерных систем, предотвращающих поступления в окружающую среду экотоксикантов, определяют поиск способов иммобилизации тяжелых металлов (ТМ) в пределах импактных зон с получением материалов, способных снизить негативное воздействие металлургического производства на окружающую среду при минимальных экономических издержках.

На протяжении ряда лет в Институте химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И. В. Тананаева КНЦ РАН выполняются работы по восстановлению природного ландшафта вблизи медно-никелевых предприятий (г. Мончегорск и г. Заполярный) с применением горнопромышленных отходов в качестве основы для выращивания травяной дернины [2]. Для формирования травяного покрова на участке техногенной пустоши из отходов были сформированы площадки высотой 5 см и посеяны семена злаковых растений.

В условиях Мурманской области в качестве субстрата для создания подложки, защищающей корни растений от негативных факторов, целесообразно

использовать отходы добычи флогопита (ООО "Ковдорслюда", г. Ковдор). Вермикулит, содержащийся в данных отходах, может быть использован для получения термовермикулита – гидропонной основы для создания травяной дернины при рекультивации техногенного грунта [3]. Помимо улучшения физико-химических параметров произрастания растений, термовермикулит способствует детоксикации почвенных растворов в результате проявления им ионообменных и сорбционных свойств.

Вермикулит – минерал слоистого строения с разнообразными свойствами, одним из которых является способность вспучиваться и увеличиваться в объеме в 20–30 раз при нагревании [4, 5]. Это вторичный материал из группы гидрослюд, являющийся пластинчатым материалом золотистого цвета. Формула вермикулита – $Mg_{0,5}(Mg,Fe)_3(Si,Al)_4O_{10}(OH)_{24} \times H_2O$ [6]. Твердость минерала 2,1–2,8, плотность 2,5 г/см³, рН ≈ 7,0. Вермикулит характеризуется высокими значениями ЕКО (емкости катионного обмена) и удельной поверхностью. Обменная емкость 80–150 мг-экв/100 г [7].

Получение материалов на основе вермикулита предусматривает обжиг исходного зернистого материала на модульно-спусковой печи, в которой реализован механизм термоудара как наиболее эффективного способа получения термовермикулита. Целью данной работы является достижение таких параметров обжига, при которых термоактивированный вермикулит имел бы наилучшие свойства для использования его в качестве мелиоранта.

Материалы и методы исследования

Образец исходного материала представляет собой типичную для Ковдорского месторождения разновидность вермикулита с заметной примесью флогопита (по данным РФА). Содержание основных компонентов составляет, мас. %: SiO₂ – 30,9; MgO – 27,0; Al₂O₃ – 9,6; Fe₂O₃ – 5,3; CaO – 4,0; Na₂O – 3,3; K₂O – 0,9; С – 0,5; H₂O – 7,7. Вермикулит (фракция -2+1 мм) помещали в нагретую до заданной температуры лабораторную муфельную печь, продолжительность выдержки – 3 мин. Температура обжига составляла от 500 до 900 °С.

Для определения эффективности сорбционной очистки термовермикулитом водных растворов от катионов меди и никеля проведена серия экспериментов. Эксперименты проводили методом отдельных навесок в полипропиленовых стаканах. В растворы с различной концентрацией никеля и меди помещали навеску реагента и выдерживали определенное время (1 и 30 сут).

Значения рН определяли с помощью иономера И-160, полученную суспензию фильтровали через мембранный фильтр (размер пор 0,45 мкм), и фильтрат консервировали путем добавления концентрированной HNO_3 квалификации ос. ч. из расчета 1 мл на 100 мл раствора. В полученном растворе определяли массовую концентрацию меди и никеля методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой на ELAN 9000 DRC-e (Perkin Elmer). Растворы с концентрацией от 2 до 50 мг/л готовили с использованием реактивов кристаллогидратов сульфатов меди и никеля квалификации х. ч. и дистиллированной воды.

Результаты и их обсуждение

Температура обжига оказывает влияние на фазовый состав термовермикулита, что отражается на величине рН суспензий образцов в растворах ТМ (рис. 1, а). Разрушение кристаллической решетки вермикулита при температуре 700 °С и выше приводит к увеличению рН до сильно щелочных значений (рН 10–12) при продолжительности выдержки суспензий в условиях свободного контакта с атмосферным воздухом в течение 24 ч. Через месяц выдержки полученных суспензий в тех же условиях наблюдается снижение рН как результат поглощения атмосферного CO_2 сильно щелочным раствором (рис. 1, б). Указанный процесс наблюдается для высокотемпературных образцов.

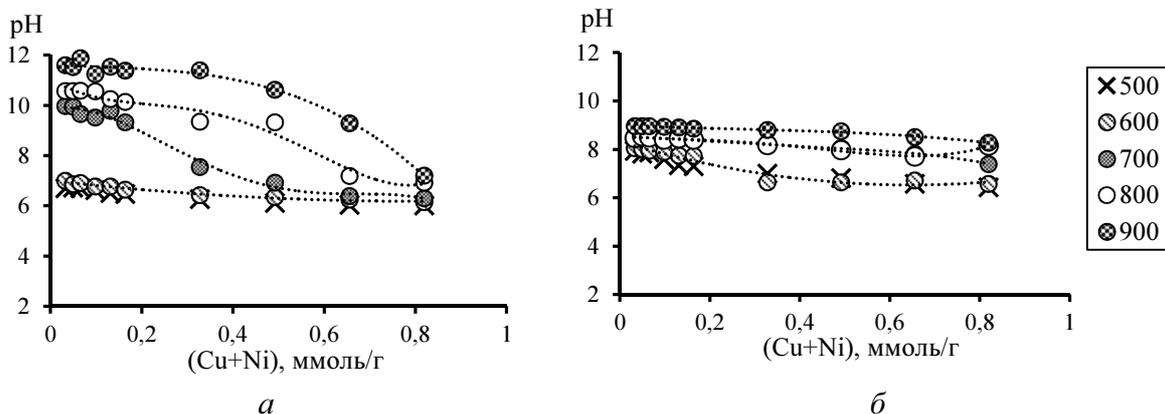


Рисунок 1 – Значения рН суспензий термовермикулита в растворах с различной концентрацией меди и никеля, продолжительность взаимодействия 24 ч (а) и 30 сут (б)

Что касается низкотемпературного термовермикулита (температуры обжига 500 и 600 °С), то для них зафиксировано постепенное повышение рН от значений 6,1–6,7 до 6,4–7,9, которые зависят от концентрации исходных растворов. Вероятно, повышение рН отражает процесс ионного обмена катионов меди и никеля на межслоевой магний.

Известно, что для большинства растений при прорастании и в молодом возрасте требуется среда близкая к нейтральной. Таким образом, можно говорить о том, что наиболее подходящая температура обжига вермикулита для применения его в качестве субстрата при выращивании травяной дернины находится в пределах 500–600 °С, а более высокие температуры будут неблагоприятны для физиологического процесса роста растений.

Таким образом, термообработка вермикулита при высоких температурах приводит к превращению его в щелочной реагент, который может быть использован для извлечения ТМ из растворов. О процессе взаимодействия термовермикулита с растворами ТМ судили по результатам анализа зависимости концентрации ТМ от рН осаждения $C(\text{Cu}, \text{Ni}) = f(\text{pH})$ (рис. 2 и 3). Поскольку щелочность образцов, полученных при температурах 500 и 600 °С, а также 700 и 800 °С практически не отличаются, результаты сорбционных опытов для термовермикулита, обожженного при температуре 600 и 800 °С предварительно проанализированы, но не представлены на рис. 2 и 3.

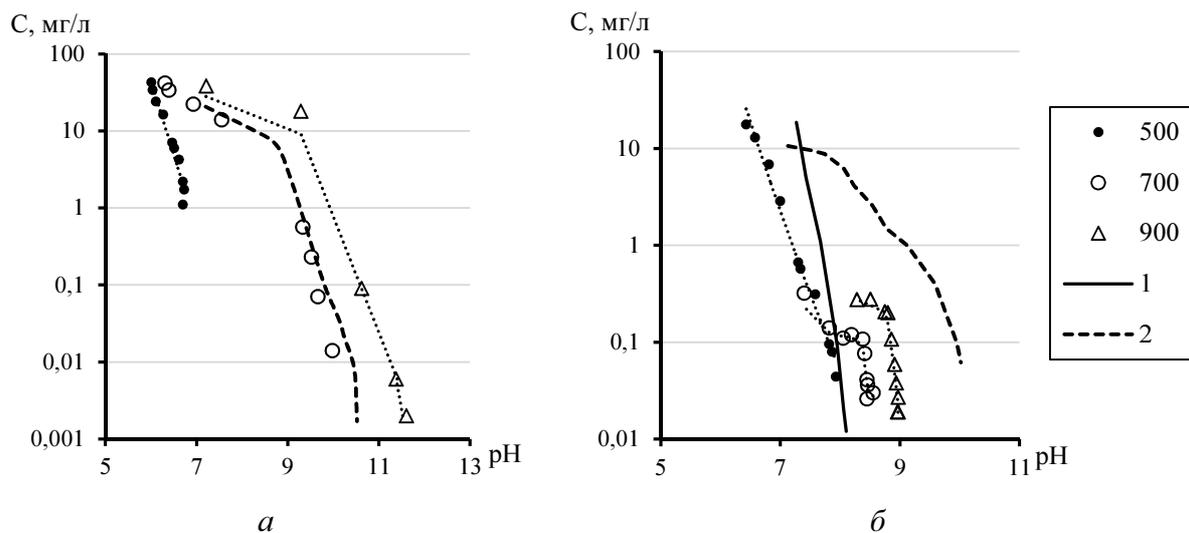


Рисунок 2 – Зависимость концентрации никеля от рН осаждения образцами термовермикулита, полученными при различных температурах (см. легенду), продолжительность взаимодействия 24 ч (а) и 30 сут (б). Линиями показаны зависимости, полученные экспериментально с применением термоактивированного серпентина (1) и оксида магния (2)

На рис. 2 помимо экспериментальных данных для термовермикулита показаны зависимости, полученные ранее для процесса осаждения никеля оксидом магния и магнезиально-силикатным реагентом на основе серпентиновых минералов [8]. На рис. 2, а, отражающем результаты экспериментов при продолжительности взаимодействия 24 ч, зависимости для оксида

магния, магнезиально-силикатного реагента и термовермикулита (700 °С), практически совпадают, что говорит о решающей роли оксида магния при осаждении никеля в данных условиях. Как было показано ранее, осаждение ТМ происходит в результате образования малорастворимых гидросоединений и соосаждения $\text{Ni}(\text{OH})_2$ с гидроксидом магния. При использовании низкотемпературного термовермикулита (600 °С) осаждение идет по другому механизму – за счет ионного обмена.

Следствием продолжительной выдержки открытой реагирующей системы является изменение формы зависимости $C(\text{Ni}) = f(\text{pH})$ для образцов высокотемпературного термовермикулита (700, 900°С). Ранее было показано, что при взаимодействии с магнезиально-силикатным реагентом образуется силикат никеля. Как видно из рис. 2, б, при взаимодействии раствора сульфата никеля с высокотемпературным термовермикулитом состав осажденной фазы является промежуточным между силикатом и гидроксидом никеля. Следует отметить, что через месяц взаимодействия для всех образцов термовермикулита остаточные концентрации никеля являются сопоставимыми величинами, однако значения рН в опытах с высокотемпературным вермикулитом выше, чем с низкотемпературным, и выходят за пределы нормативных значений, установленных для рыбохозяйственных водоемов.

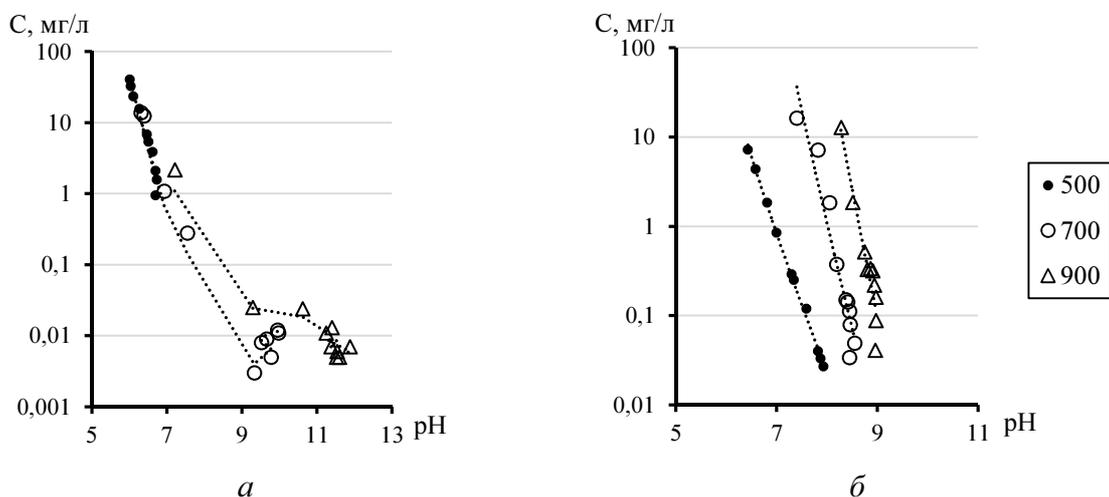


Рисунок 3 – Зависимость концентрации меди от рН осаждения образцами термовермикулита, полученными при различных температурах (см. легенду), продолжительность взаимодействия 24 ч (а) и 30 сут (б)

Медь в рассматриваемых щелочных системах осаждается преимущественно в виде гидросульфата и проявляет меньшую, по сравнению с никелем, способность образовывать силикаты и соосажденные с гидроксидом

магния соединения. Данные для образцов высокотемпературного вермикулита при продолжительности взаимодействия 24 ч повторяют, как и в опыте с никелем, полученные ранее результаты экспериментов с оксидом магния. Концентрации меди менее 0,1 мг/л получены за счет образования силикатного соединения.

Выводы

Термовермикулит, полученный при температуре 500–600°C и продолжительности обжига 3 мин, характеризуется оптимальными значениями рН и удовлетворительной сорбционной способностью по отношению к никелю и меди. Разрушение кристаллической решетки при более высоких температурах обжига обуславливает повышение щелочности материала до значений, превышающих нормативные требования для среды произрастания растений. Высокотемпературный термовермикулит представляет собой магниезиально-силикатное щелочное соединение, при взаимодействии с которым образуются малорастворимые силикатные соединения ТМ.

Библиографический список

1. Ананьева С. И., Белова Е. А., Булычев А. Г., Булычева И. А., Заколдаева А. А., Зацаринный И. В., Исаева Л. Г., Косякова А. Ю., Ларькова М. С., Лукина Н. В., Мерщиев А. В., Поликарпова Н. В., Трушицына О. С., Собчук И. С., Сухарева Т. А., Хлебосолова О. А. Кольская горно-металлургическая компания (промышленные площадки "Никель" и "Заполярный"): влияние на наземные экосистемы / Под общ. ред. О. А. Хлебосоловой. – Рязань : НП "Голос губернии", 2012. С. 92.

2. Мосендзи А., Слуковская М. В., Иванова Л. А., Кременецкая И. П., Дрогобужская С. В. Горнопромышленные отходы как компонент технологии фиторекультивации техногенной пустоши в субарктике // Актуальные вопросы химической технологии и защиты окружающей среды : сб. материалов VI Всерос. конф. с междунар. участием. Чебоксары : Изд-во Чуваш. ун-та, 2016. С. 71–72.

3. Пат. 2393665 РФ, МПК А01G 31/00 (2006.01). Способ создания экологически чистого травяного покрытия и питательная среда для его выращивания / Иванова Л. А., Котельников В. А.; Котельников Владимир Александрович, Иванова Любовь Андреевна. № 2007126884/12; заявл. 13.07.07; опубл. 20.01.09, Бюл. № 2.

4. De la Calle C., Suquet, H., 1988. Vermiculite. In: Bailey, S.W. (Ed.), Hydrous Phyllosilicates. Reviews in Mineralogy, vol. 19. Mineralogical Society of America, pp. 455–496

5. Walker G. F., 1961. Vermiculites. In: Brown, G. (Ed.), The X-ray Identification and Crystal Structures of Clay Minerals. Mineralogical Society, London, pp. 297–324.

6. Силикова А. Р. Изучение влияния обжиговой температуры на качество получаемого сырья для производства сорбентов из обожженного вермикулита // Минералогия техногенеза. 2015. № 16. С. 209–211.

7. Аширов А. Ионнообменная очистка сточных вод, растворов и газов. Л. : Химия, 1983. 295 с.

8. Кременецкая И. П., Корытная О. П., Васильева Т. Н., Беляевский А. Т., Бубнова Т. П. Особенности получения и применения фракционированного магниально-силикатного реагента // ЖПХ. 2012. № 10. Т. 85. С. 1553–1561.

Анализ последствий утилизации бурового раствора под грунтом в лабораторных условиях

Николайчук Д. В. (г. Мурманск, ФГБОУ ВО "Мурманский государственный технический университет", Тб(м)-1, e-mail: nikolaychukdv@mstu.edu.ru)

Аннотация. В данной статье описывается наблюдение за диффузией хлоркалиевого бурового раствора через песчаник с течением времени и приводятся результаты измерения концентраций загрязнителя в модели пласта. В конечном итоге, в работе сделан вывод о негативной составляющей предложенного метода утилизации бурового раствора.

Abstract. This article describes the observation of the diffusion of the chloralkali drilling mud through the sandstone over time and gives the results of measuring the pollutant concentrations in the reservoir model. In the end, the work concluded that the negative component of the proposed method of drilling mud disposal.

Ключевые слова: буровой раствор, диффузия, массоперенос, утилизация, загрязнение.
Key words: drilling mud, diffusion, mass transfer, utilization, pollution.

Буровой раствор – сложная многокомпонентная дисперсная система суспензионных, эмульсионных и аэрированных жидкостей, применяемых для промывки скважин в процессе бурения.

При бурении любых видов скважин, появляется проблема – утилизация бурового шлама.

Буровой шлам – водная суспензия, твёрдая часть которой состоит из продуктов разрушения горных пород забоя и стенок скважины, продуктов истирания бурового снаряда и обсадных труб, глинистых минералов (при промывке глинистым раствором).

При разработке и эксплуатации нефте- и газовых месторождений используется большое количество экологически опасных и вредных химических реагентов для замешивания бурового раствора. Наибольшую опасность для объектов природной среды представляют производственно-технологические отходы бурения, которые накапливаются и хранятся непосредственно на территории буровой. Особенно велико вредное влияние на почву нефтепродуктов. При углеводородных загрязнениях почв из них вытесняется кислород, почва теряет продуктивность, и плодородный слой долго не восстанавливается. Самоочищение почв происходит очень медленно.

На данный момент набирает обороты метод утилизации отработанного бурового раствора путем закачивания отходов под землю взамен хранения бурового шлама в ямах и амбарах. Данный метод был применен около 25 лет

назад, и с тех пор данная технология стала общепринятой во всем мире. Считается, что данный метод утилизации бурового раствора является экологически эффективным и экономически не затратным. Буровые отходы считаются надежно "запертыми" в пласте, и поэтому, они не загрязняют подземные воды и верхние слои литосферы. Однако, это не так.

Буровые отходы, захороненные под грунтом с течением времени начинают испаряться и диффузировать наверх. Для более детального рассмотрения процесса перемещения массы бурового раствора в пласте были собраны модели пласта для утилизации бурового раствора, которые представляют из себя хлоркалийевый буровой раствор под толщей песчаника.

Разработана модель песчаного пласта с фракцией песка = 0.25–0.5 мм. Под толщей песка 10.03.2017 г. был захоронен хлоркалийевый буровой раствор объемом 450 мл. Концентрация компонентов бурового раствора: $S_{кон} = 10$ г/л, $S_{ксл} = 30$ г/л. Общая концентрация раствора $C = 20$ г/л.

Модель данного песчаного пласта была собрана с целью ежедневного измерения сопротивления на 8-ми слоях. Модель была оставлена при стандартной температуре ($T = 20$) и давлении ($P = 101\ 325$ Па).

Измерение сопротивления производилось прибором Ц 4324, который дает значения в размерности [Ом]. Для дальнейшего перевода сопротивлений в концентрации требуется определить удельное сопротивление [Ом*м]. Измерить удельные сопротивления можно с помощью резистивиметра РМ-1, но для проведения измерений в пласте этот прибор неудобен. Тогда была произведена тарировка. Контрольный соляной раствор NaCl с заданной концентрацией $C_{NaCl} = 10 \frac{г}{л}$ был замерен прибором Ц 4324 и резистивиметром РМ-1. Резистивиметр показал значение для этого раствора 0,33 Ом*м, прибор Ц 4324 показал значение в 0,3 Ом. Таким образом, можно сказать, что полученным с помощью прибора Ц 4324 данным можно доверять и конвертировать в единицу измерения Ом*м.



Рисунок 1 – Модель песчаного пласта для измерения сопротивлений на восьми слоях

Таблица 1 – Сопротивления в модели песчаного пласта, Ом*м

Дата	11.03.2017	14.03.2017	15.03.2017	16.03.2017	18.03.2017	20.03.2017	23.03.2017	24.03.2017
№ п/п								
1	0,19	0,24	0,3	0,25	0,44	0,4	0,65	0,65
2	0,16	0,22	0,2	0,23	0,32	0,25	0,45	0,5
3	0,17	0,2	0,26	0,32	0,33	0,45	1	1,1
4	0,3	0,35	0,36	0,43	0,5	0,52	0,8	0,65
5	0,15	0,25	0,24	0,23	0,3	0,27	0,5	0,5
6	0,17	0,25	0,22	0,25	0,29	0,32	0,5	0,6
7	0,2	0,29	0,24	0,26	0,3	0,28	0,45	0,4
8	0,29	0,45	0,48	0,5	0,51	0,48	0,7	0,9

Как видно из табл. 1, резкое увеличение начального сопротивления на каждом из восьми уровней оценки в модели пласта замечается 23.03.17 г., т. е. через 12 дней после начала проведения эксперимента. В это же время корка, образовавшаяся на поверхности песка, начинает затвердевать и белеть.

Визуально результат массопереноса можно наблюдать на рисунке.



Рисунок 2 – Поверхностный слой модели пласта в конце эксперимента

Данные результаты сопротивлений не стоит считать конечными, так как при измерении сопротивления прибором Ц 4324, прибор показывал общее значение сопротивления. В то время как общее сопротивление песка с раствором складывается отдельно из сопротивления раствора и собственного сопротивления песка.

Тогда, чтобы определить концентрацию раствора в песке, стоит вспомнить про тарировку, сделанную ранее. Сам раствор обладает сопротивлением 0,33 Ом*м, тогда как общее сопротивление песка и раствора сразу же после смешения было 0,19 Ом*м. Тогда, можно получить коэффициент, поз-

воляющий рассчитать концентрацию самого раствора в пласте, а не общую концентрацию песка и раствора. Этот коэффициент равен 2.

Найдем концентрацию загрязнителя при известном удельном сопротивлении при температуре $t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$, учитывая ранее посчитанный коэффициент смешения пласта и раствора [2] и представим результаты в виде таблицы.

Таблица 2 – Концентрации загрязнителя в модели песчаного пласта, г/л

Дата	11.03.2017	14.03.2017	15.03.2017	16.03.2017	18.03.2017	20.03.2017	23.03.2017	24.03.2017
№ п/п								
1	20	14	11	16	5,5	10	5	5
2	25	17	20	17	12,5	15	6	6
3	22	20	13	11	12,5	6	3,5	3,5
4	12	11	9	9	6	6,5	4	5
5	27	12	14	17	12	14,5	6	6
6	22	12	17	16	12	15	6	5
7	17	13	15	15	12	15	6	4
8	13	8	6	6	6	6	4,5	4

Построим графики изменения концентраций от слоя к слою для двух экспериментальных дней: первого и последнего (13-й день).

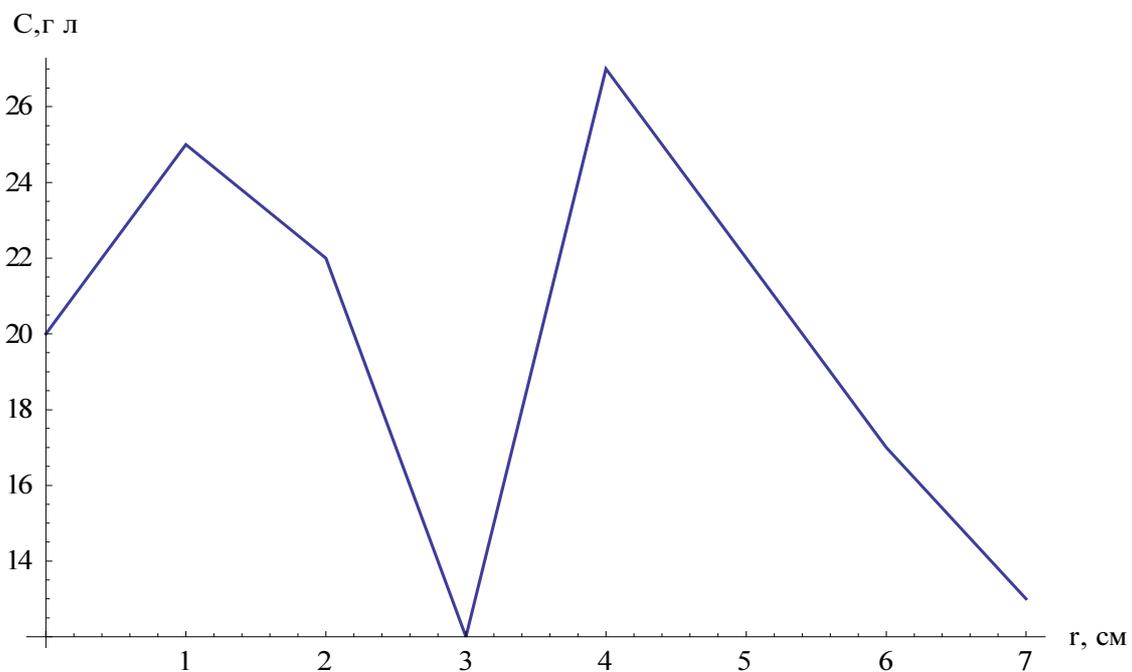


Рисунок 3 – График распределения экспериментальных концентраций в первый день измерений по слоям

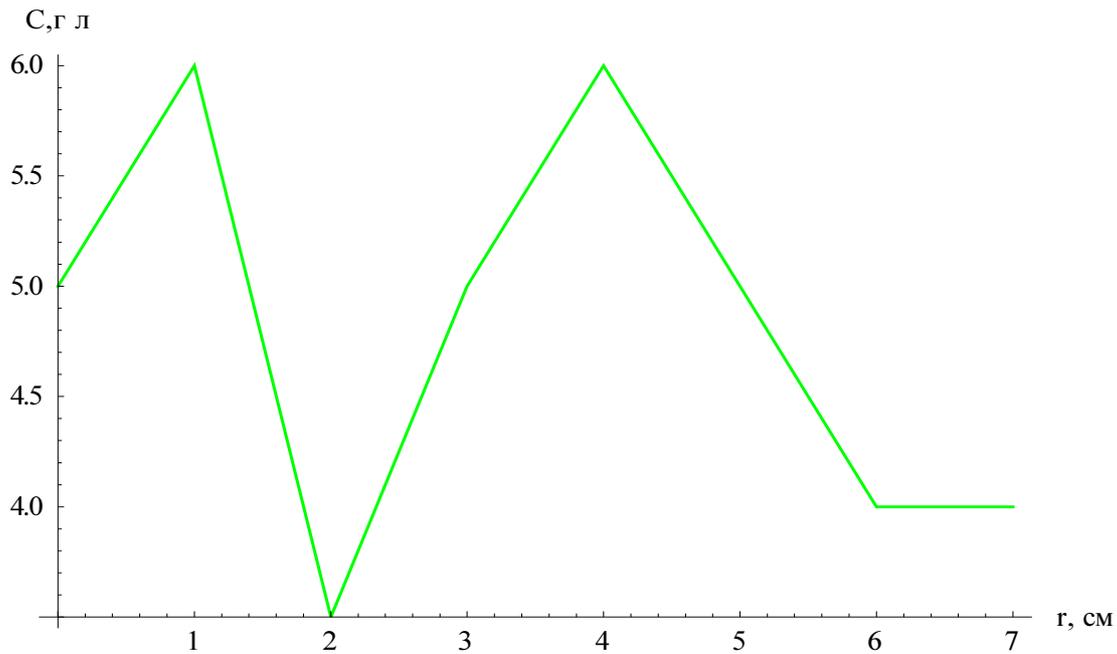


Рисунок 4 – График экспериментальных концентраций
в 13-й день измерений по слоям

Проанализировав рис. 5, была сделана визуальная оценка концентраций. Как видно из графиков, в последний день концентрация загрязнителя в пласте значительно уменьшилась по сравнению с первым опытным днем. Это связано с тем, что вода, входящая в состав бурового шлама, испарялась в течение этого времени и уносила загрязнитель с собой через пласт, в итоге загрязнитель оказался на поверхности в виде белой соляной корки.

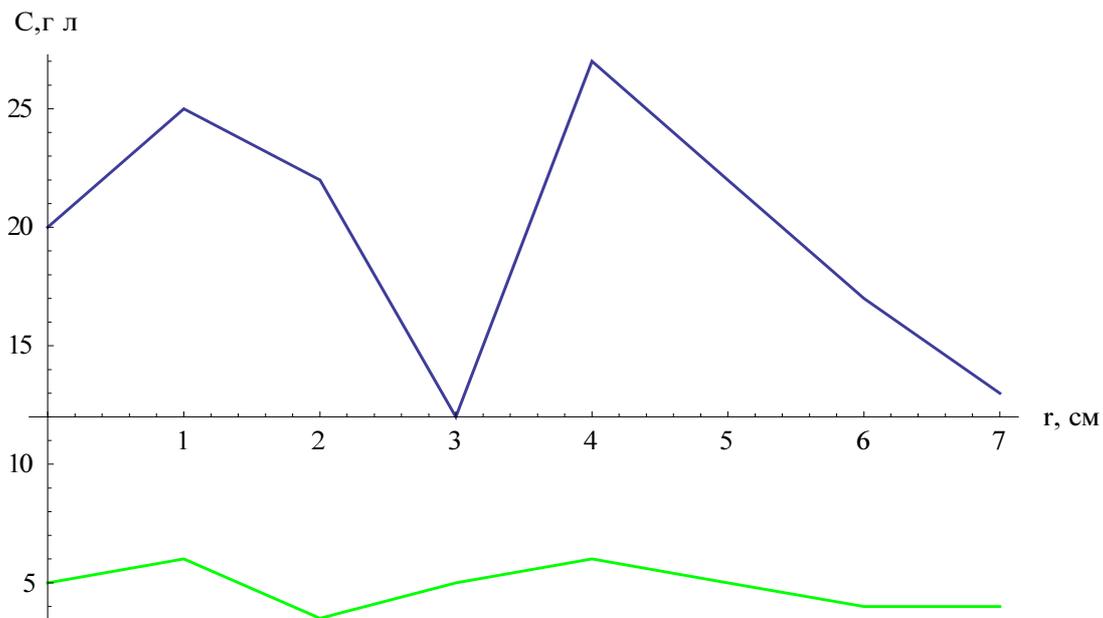


Рисунок 5 – Графики экспериментальных концентраций
в первый и последний дни наблюдений

Определим теоретическое изменение концентраций в слоях в последний экспериментальный день с помощью уравнения переноса массы [3].

Для бинарной смеси в отсутствии химических реакций в объеме уравнение переноса масс сводится к уравнению конвективной диффузии. Обозначим через C концентрацию растворенного вещества, тогда имеем:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial r} = D \left(\frac{\partial^2 C}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial C}{\partial r} \right), \quad (1)$$

где u – скорость диффузии;

D – коэффициент диффузии;

r – расстояние.

Для определения коэффициента диффузии в жидкостях при 20 С можно пользоваться формулой [4]:

$$D = \frac{1 * 10^{-6}}{AB\sqrt{\mu}(v_A^{1/3} + v_B^{1/3})^2} \sqrt{\frac{1}{M_A} + \frac{1}{M_B}} = 0.025510^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

С помощью программной среды "Wolfram Mathematica 9.0" решим дифференциальное уравнение (1) и построим график изменения концентраций по слоям и сравним теоретические результаты с результатами, полученными экспериментально.

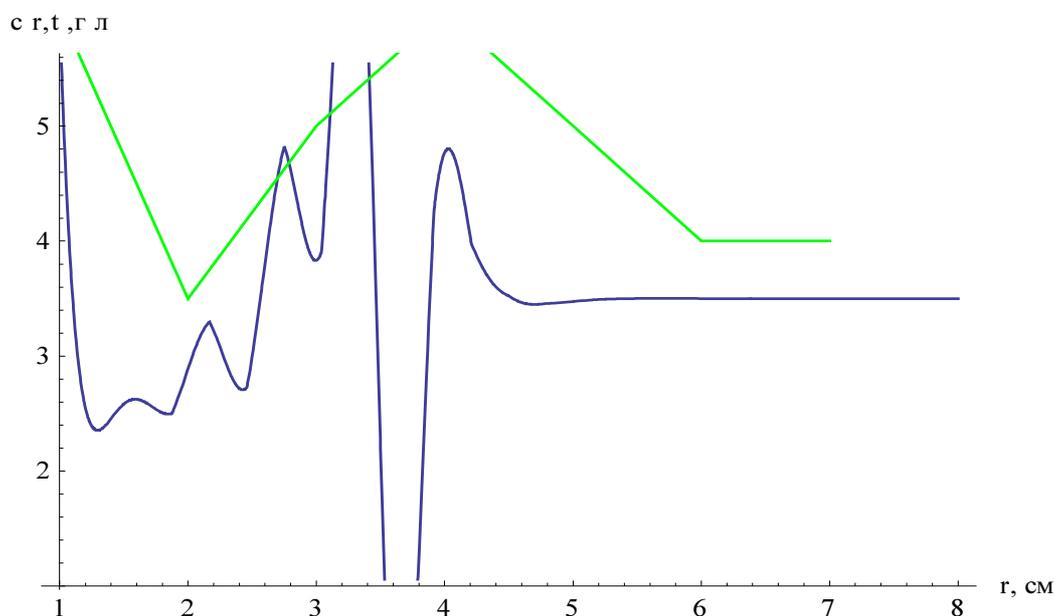


Рисунок 6 – Теоретические и экспериментальные значения в 13-й день процесса массопереноса

Как видно из сопоставления графиков экспериментальные и расчетные концентрации в модели пласта отличаются незначительно.

Лабораторные испытания показали, что закачиваемый в пласт отработанный буровой раствор не удерживается верхними слоями почвы и не остается надежно "запертым" в пласте. Рассмотрим закачивание бурового шлама в пласт через насосно-компрессорные трубы (НКТ). Скорость закачивания через НКТ составляет 0,8–4,0 м³/мин, общий объем закачиваемых отходов может быть свыше 300 000 м³. На некоторых месторождения, отработанные эксплуатационные скважины используют как скважины для закачивания отходов. Средняя глубина закачки составляет 500 м. С помощью несложных вычислений можно грубо спрогнозировать выход таких захоронений на поверхность. Примерное время выхода раствора на поверхность – 300 лет, с учетом высоких пластовых температур.

Таким образом, на основании произведенных экспериментов и расчетов, можно сделать выводы:

1. При утилизации бурового шлама после бурения не стоит забывать, что в состав бурового раствора входят вредные и даже опасные загрязняющие вещества, которые при утилизации на глубине начинают диффузировать в вышележащий горизонт. Требуется обеззараживание бурового раствора перед захоронением, так как по прошествии времени вредные вещества загрязняют весь слой почвы, под которым он находится.

2. Для наблюдений за состоянием почв в районе утилизации бурового шлама можно использовать как экспериментальные данные, так и просчитывать уровень загрязненности с помощью дифференциального уравнения массопереноса, так как по результатам эти два способа оценки концентраций отличаются незначительно.

Библиографический список

1. Ягофарова Г. Г., Барахнина В. Б. Утилизация экологически опасных буровых отходов : Уфимский государственный нефтяной технический университет // Нефтегазовое дело. 2006.

2. Латышова М. Г. Практическое руководство по интерпретации диаграмм геофизических методов исследования скважин. М. : Недра, 1981. 182 с.

3. Синайский Э. Г. Гидродинамика физико-химических процессов. М. : Недра, 1997. 339 с.

4. Плановский А. Н. Процессы и аппараты химической технологии / А. Н. Плановский, В. М. Ранн, С. З. Каган. М. : Химия, 1968. 848 с.

Оценка чувствительности растительных тест-культур на антропогенное загрязнение почвы

Яшкина А. А., Беляева Г. А. (г. Мурманск, ФГБОУ ВО "Мурманский государственный технический университет", кафедра экологии и защиты окружающей среды, e-mail: anna_yashkina@mail.ru)

Аннотация. В приведенной статье анализируется реакция растительных тест-объектов на различные вносимые в почву загрязнители. Для проведения фитотестирования применены пластиковые контейнеры для вертикального размещения проростков испытуемых растений. Рассчитан фитотоксический эффект по длине побега тест-объектов.

Abstract. Plant test-objects response to different soil contaminants are considered in this paper. Plastic containers for vertical placement of experimental seedlings were used for phytotesting. There was estimated the phytotoxic effect on shoot length of test-objects.

Ключевые слова: почва, загрязнение, фитотестирование, тест-объекты.

Key words: soil, contamination, phytotesting, test-object.

В настоящее время для экотоксикологической оценки почв для определения степени загрязнения применяют биологические методы, основанные на реакции живых организмов на данное загрязнение. Особую актуальность в экологическом контроле приобретают лабораторные методы фитотестирования, как наиболее экспрессные и экономичные.

Фитотоксичность определяется как способность среды оказывать угнетающее действие на растения, приводящее к нарушению физиологических процессов – роста и развития корней и надземной части растения.

Фитотестирование основано на чувствительности высших растений к экзогенному химическому воздействию, что отражается на ростовых и морфологических характеристиках [1, 2]. Для проведения фитотестирования почв в настоящее время используются различные методики. Показателем токсичности почвы является степень изменения выбранной тест-функции биоиндикаторного организма при его взаимодействии с исследуемым образцом почвы.

Для повышения экспрессности фитотеста предлагается использовать прозрачные тест-контейнеры, которые размещаются вертикально. В данной работе и применялось данное "вертикальное" фитотестирование в тест-контейнерах, представляющих собой боксы для электронных оптических компакт

дисков (рис. 1). К достоинствам данного способа следует отнести простоту получения изображений, фиксирующих рост применяемых тест-культур, легкость дальнейшей обработки изображений для получения необходимых данных для оценки исследуемых, искусственно загрязненных почв.



Рисунок 1 – Пластиковый контейнер и семена овса и редиса

Семена применяемых для проведения фитотестирования растений помещаются в подготовленные контейнеры, где находится увлажненная почва. Процесс роста тест-культур легко фиксируется при помощи сканирования контейнеров. В качестве показателей фитотеста принимаются:

- энергия проращивания (через 3 дня);
- всхожесть семян;
- высота надземной части побега;

Все указанные выше показатели достаточно легко фиксируются в процессе наблюдения за ростом растений. Обработка полученных изображений и получение данных о длине корней и побегов происходила в программе AutoCAD. Срок проращивания тест-культур – 6 дней.

Согласно международному стандарту в качестве тест-растений необходимо выбирать как минимум два вида культур, при этом одна из них должна быть двудольной, а другая однодольной [3]. Поэтому были выбраны овес посевной (*Avena sativa*) – однодольное растение, горчица белая (*Sinapis alba*) – двудольное растение. Семена этих растений имеют высокую скорость прорастания, доступны и рекомендованы для исследования.

Определение фитотоксического эффекта проведено согласно ФР.1.39.2006.02264 "Методика выполнения измерений всхожести семян и длины корней проростков высших растений для определения токсичности техногенно загрязненных почв" [4], путем сопоставления показателей тест-функций (М и С) семян овса посевного (*Avena sativa*) и горчицы белой (*Sinapis alba*).

Фитотоксический эффект по длине проростков определялся по формуле

$$\Phi Э = \left(1 - \frac{L_{\text{оп}}}{L_{\text{к}}}\right) \cdot 100 \%,$$

где $\Phi Э$ – эффект торможения, %;

$L_{\text{оп}}$ – средняя длина проростков в опыте, мм;

$L_{\text{к}}$ – средняя длина проростков в контроле, мм.

В данной работе тестируемые почвы были представлены в нескольких вариантах:

1. Контрольная почва – без загрязнения (далее обозначается "контроль").
2. Почва, загрязненная 10-ным раствором уксуснокислого свинца (далее "+свинец").
3. Почва, загрязненная 0,1 М раствором фенола (далее "+фенол").
4. Почва, загрязненная нефтепродуктами, представленными дизельным топливом, разбавленным 1:1 с дистиллированной водой (далее "+НП").

Почва тщательно перемешивалась с растворами-загрязнителями для увлажнения. В случае контроля она увлажнялась дистиллированной водой. Затем подготовленные образцы почвы размещались в контейнерах, и на нее были высажены по 10 семян тест-растений. Проращивание проводилось в двух параллельных экспозициях.

В ходе работы были получены результаты, отражающие реакцию растительных тест-культур на вносимые загрязнители. Энергия проращивания у семян горчицы составила 90 % для контрольной почвы и 80 % для загрязненных почв, у семян овса отмечался аналогичный отклик для контроля, но в почве "+НП" энергия проращивания была на уровне 50 %.

Всхожесть семян у тест-растения "горчица":

- 100 % у контрольной почвы;
- 80 % в загрязненных образцах.

Для овса всхожесть семян в "контроле" так же составила 100 %, для почвы "+свинец" – 80 %, "+фенол" – 90 %, "+НП" – 60 %.

Средняя длина побегов тест-культур приведена на рис. 2 для горчицы и на рис. 3 для овса.

Как видно из приведенных рисунков, наибольшее угнетение оказало внесение в почву нефтепродуктов. Загрязнение почв фенолом не оказало резкого изменения на рост растений.

Значения фитотоксического эффекта, приведенного в процентах, отражены на рис. 4 и 5. Наибольшие значения отмечаются при внесении нефтепродуктов: 70 % для горчицы и 91 % для овса. Наименьший фитотоксический эффект наблюдается в почве, загрязненной фенолом.

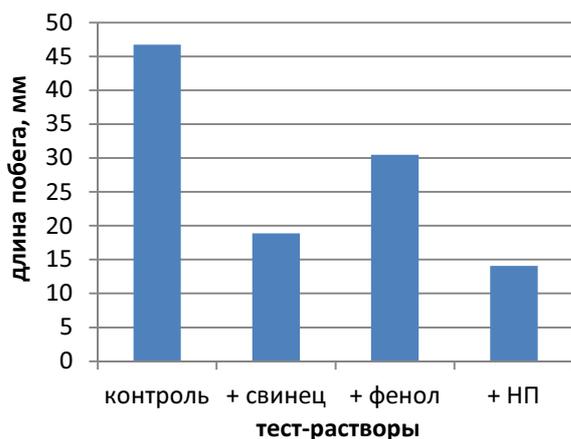


Рисунок 2 – Длина побегов горчицы (мм)

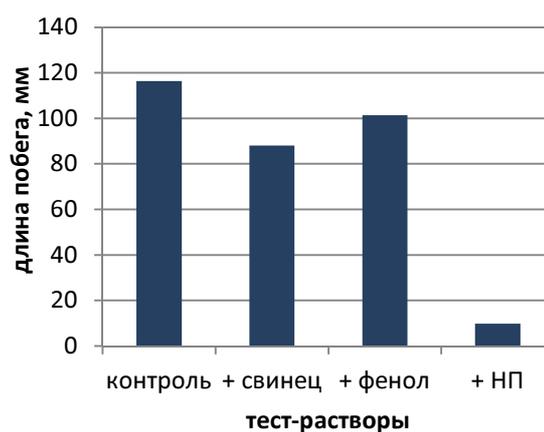


Рисунок 3 – Длина побегов овса (мм)

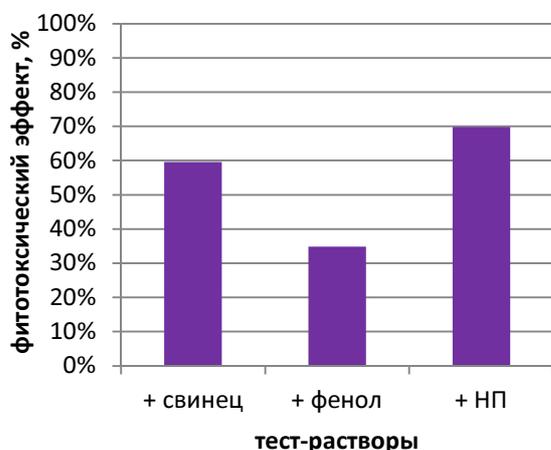


Рисунок 4 – Фитотоксический эффект по длине побегов горчицы

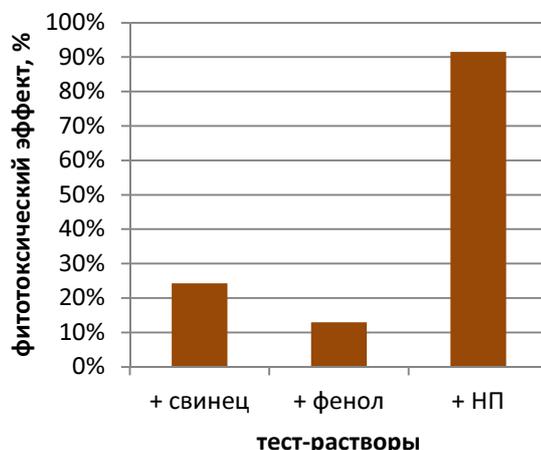


Рисунок 5 – Фитотоксический эффект по длине побегов овса

В заключении стоит отметить, что наибольшую чувствительность к загрязнению свинцом и фенолом проявило двудольное растение горчица. Загрязнение нефтепродуктами оказало самое токсичное влияние на оба вида тест-культур, но овес оказался более чувствительным – фитотоксический эффект составил более 90 %.

Библиографический список

1. Воробейчик, Е. Л. Экологическое нормирование техногенных загрязнений наземных экосистем / Е. Л. Воробейчик [и др.]. – Екатеринбург : УИФ "Наука", 1994. – 282 с.
2. Лисовицкая, О. В. Фитотестирование: основные подходы, проблемы лабораторного метода и современные решения / О. В. Лисовицкая, В. А. Терехова // Доклады по экологическому почвоведению. – 2010. – №1. – С. 1–18.
3. ИСО 11269-2:2013 Качество почвы. Определение воздействия загрязняющих веществ на флору почвы. Воздействие загрязненной почвы на всхожесть и ранний рост высших растений. – Введ. 2012-29-02. – М. : Стандартинформ, 2012. – 30 с.
4. Методика измерений всхожести семян и длины корней проростков высших растений для определения токсичности техногенно загрязненных почв: М-П-2006 ФР.1.39.2006.02264. – СПб. : 2009. – 19 с.

ЭНЕРГЕТИКА И ТРАНСПОРТ

Анализ аварийности российских морских судов (2014–2016 гг.).

Бурзун М. С. (*г. Мурманск, ФГБОУ ВО "Мурманский государственный технический университет", кафедра математики, информационных систем и программного обеспечения*)

Аннотация. В работе проведен анализ аварийности морских судов. Определены основные причины аварийных ситуаций и факторы влияния.

Annotation. The work analyzes the accident rate of sea-going vessels. The main causes of emergencies and factors of influence are determined.

Ключевые слова: аварийность, аварийный случай, безопасность.

Key words: emergency, emergency, safety.

Безопасность является основным качеством, необходимым для всех видов транспорта. Особое значение она приобретает в морском судоходстве. Значительные размеры морских судов, рост скоростей движения, увеличение интенсивности движения на морских путях, плавание судов в сложных метеорологических условиях и другие причины делают проблему безопасности мореплавания наиболее приоритетной и актуальной при оценке современного состояния и развития морского транспорта.

Аварийные случаи на море классифицируются по следующим категориям:

1. Навигационные:

- посадка на мель;
- навал;
- столкновение;
- потеря остойчивости, плавучести;
- касание грунта;
- касание притопленного предмета;
- ледовые повреждения.

2. Техничко-эксплуатационные:

- повреждение главного двигателя;
- повреждение винто-рулевого комплекса;
- повреждение корпуса;
- повреждение судовых устройств и механизмов;
- взрывы, пожары;

- затопление;
- излучение;
- отказы работы в навигационной системе .

Анализ причин аварий показывает, что все множество факторов, обуславливающих их возникновение, можно объединить в группы:

- технические;
- эксплуатационные;
- навигационные;
- субъективные.

К техническим факторам, влияющим на безопасность эксплуатации судов, относятся:

- надежность судовых технических средств, устройств и корпуса судна;
- степень автоматизации судовых энергетических установок;
- категории ледовых усилений корпуса судна;
- степень оснащения судна противопожарной техникой, системами тушения пожара и средствами обнаружения пожарной опасности и возникновения возгорания;
- степень оснащения судна средствами контроля и технической диагностики;
- степень оснащения судна грузоподъемными устройствами как при грузовых операциях, так и для обслуживания судовых технических средств.

К эксплуатационным факторам, оказывающим влияние на техническую безопасность судов, относятся:

- возраст судов;
- условия внешней среды;
- свойства перевозимых грузов;
- численность судовых экипажей;
- назначение режимов работы судовых энергетических установок;
- качества применяемых топлив, смазочных масел и технической воды;
- своевременность и качество заводского ремонта;
- обеспеченность судов сменно-запасными частями и материалами;
- качество инструкции по технической эксплуатации и документации [1].

В отчетах Ространснадзора (2014–2016 гг.) отражены следующие виды аварий (табл. 1) и показатели аварийности (табл. 2).

Таблица 1 – Сведения об аварийности с судами на море (2014–2016 гг.)

ПОКАЗАТЕЛЬ	2014	2015	2016
МОРЕ			
Всего аварийных случаев	45	72	82
с судами торгового мореплавания	36	49	47
из них с пассажирскими судами	–	5	1
с рыбопромысловыми судами	9	23	35
Очень серьезные аварии	1	5	4
с судами торгового мореплавания	3	3	2
из них с пассажирскими судами	–	–	–
с рыбопромысловыми судами	2	2	2
Аварии	67	67	78
с судами торгового мореплавания	46	46	45
из них с пассажирскими судами	5	5	1
с рыбопромысловыми судами	21	21	33
Погибших в прямой связи с эксплуатацией судна, человек	86	86	22
на судах торгового мореплавания	12	12	9
из них на пассажирских судах	–	–	–
на рыбопромысловых судах	74	74	13
Получивших тяжкий вред, причинённый здоровью в прямой связи с эксплуатацией судна, человек	–	1	5
на судах торгового мореплавания	–	1	3
из них на пассажирских судах	–	–	–
на рыбопромысловых судах	–	–	2
Аварии с судами, повлекшие загрязнение окружающей среды	–	–	–

Таблица 2 – Показатели аварийности по видам (2014–2016 гг.)

Виды АС	2014	2015	2016
1. Навигационные, всего из них	21	26	32
посадка на мель	8	15	17
навал	5	4	8
столкновение	2	1	3
потеря остойчивости, плавучести	1	5	2
касание притопленного предмета	2	–	1
повреждение морской инфраструктуры	1	1	1
ледовое повреждение	1	–	–
касание грунта	1	–	–
2. Технические, всего из них:	22	38	29
повреждение главного двигателя	9	21	17
повреждение винто-рулевого комплекса	8	6	6
повреждение корпуса	2	7	1
повреждение судовых устройств	1	–	–
взрывы, пожары	2	4	5

Виды АС	2014	2015	2016
3. Потеря буксируемого объекта	1	1	3
4. Получение тяжкого вреда, причинённого здоровью, случаев	–	1	3
5. Гибель человека, случаев	1	6	15
Всего погибших, человек	4	86	22
Всего получивших тяжкий вред, причинённый здоровью в прямой связи с эксплуатацией судна, человек	–	1	5
ИТОГО АС	45	72	82

Виды аварий на море и причины, их повлекшие.

1. Навигационные.

Причины:

- недостатки в организации ходовой навигационной вахты и штурманской службы на судах;
- несоблюдение общепринятых приёмов и способов управления судном;
- не учёт гидрометеорологических особенностей района плавания и стоянки судов.

2. Связанные с повреждением судовых устройств и механизмов.

Причины:

- несоблюдение Правил технической эксплуатации морских судов, Правил технической эксплуатации судовых технических средств и конструкций, Положения о технической эксплуатации судов рыбной промышленности и должностных инструкций (рис. 1).

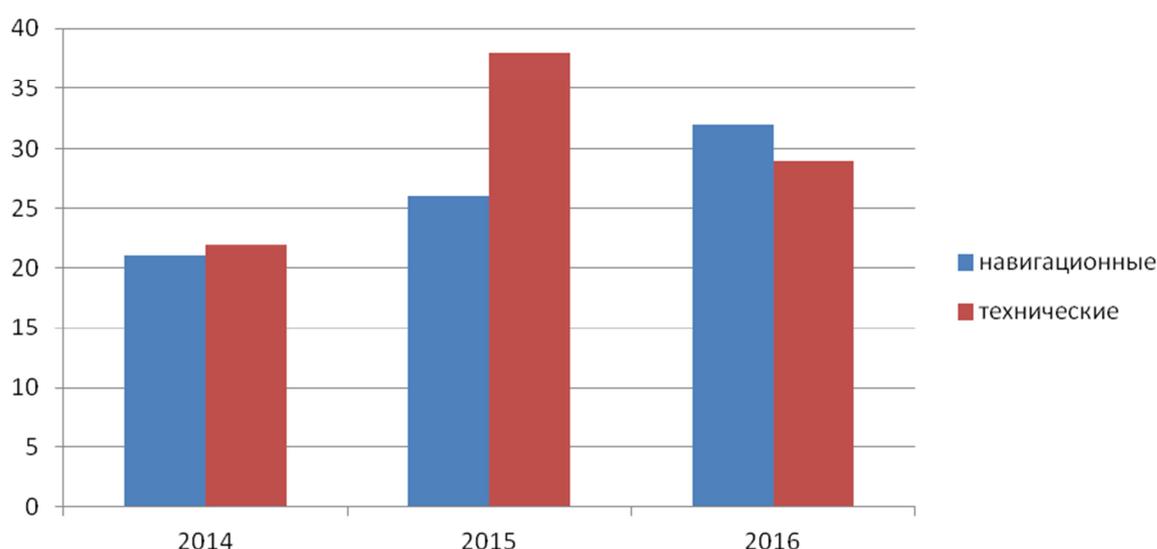


Рисунок 1 – Соотношение навигационных и технических аварий (2014–2016 гг.)

3. Потеря буксируемого объекта.

Причины:

- нарушение правил морской буксировки;
- не учёт гидрометеорологических особенностей района плавания.

4. Гибель человека.

Причины:

- несоблюдение правил техники безопасности при швартовых и рыбо-промысловых операциях;
- несоблюдение правил техники безопасности при работах в закрытых помещениях.

5. Получение тяжких телесных повреждений.

Причины:

- несчастный случай;
- несоблюдение правил техники безопасности при рыбопромысловых операциях [2].

Как показывает статистика, порядка 80 % аварийных случаев приходится на рыбопромысловые суда. Если детально рассматривать характерные причины аварий на море, то получается следующее: из общего числа аварий навигационные аварии (такие как посадка, на грунт, столкновение, повреждение корпуса и т. д.) составляют – 47 %; технические аварии (такие как поломка ГД, повреждение ВРК) и т. д. составляют – 53 %.

Библиографический список

1. Гаврилов В. С. Техническое обеспечение безопасности судов: Конспект лекций. Ч. 1. СПб., ГМА им. адм. С. О. Макарова, 2000. 44 с., ил., табл.
2. Сведения об аварийности с судами на море и внутренних водных путях за 2014–2016 г. URL:
<http://sea.rostransnadzor.ru/функции/расследование-транспортных-происшеств/анализ-и-состояние-аварийности/> (дата обращения: 18.02.2017).

Энергосбережение при использовании СПГ

Пантилеев С. П. (*г. Мурманск, ФГБОУ ВО "Мурманский государственный технический университет", кафедра энергетики и транспорта*)

Аннотация. Проанализировано состояние российского газоснабжения отдельных удалённых от магистральных газопроводов населенных пунктов. Предложен способ снабжения таких объектов СПГ при помощи автомобильных и железнодорожных криогенных цистерн. Предложены мероприятия по энергосбережению при использовании СПГ: при помощи подогрева СПГ и его газификации получать из продуктов его сгорания "сухой лёд", газообразный технический азот, чистый конденсат водяных паров и дополнительное тепло для подогрева подпиточной воды или воды ГВС. Приведены экономические обоснования предлагаемой схемы использования СПГ.

Ключевые слова: Сжиженный природный газ (СПГ), криогенные цистерны, энергосбережение, топливоснабжение, котельная установка, конденсационный утилизатор тепла, получение твёрдого CO₂ (сухой лёд), получение технического азот.

Введение

Топливо-энергетический комплекс является одной из основ экономики любой страны. Одним из условий общественного прогресса и неотъемлемым фактором любого вида человеческой деятельности является правильное распределение и рациональное использование топливно-энергетических ресурсов.

Природный газ является для России не просто эффективным энергоресурсом, но и важным средством решения многих экономических и социальных проблем. Сдерживающим фактором для поставок природного газа в некоторые районы страны являются транспортные проблемы. Необходимость строительства весьма протяженных магистральных газопроводов по малоосвоенным и труднопроходимым территориям требует решения финансовых и технических задач.

Также возникает необходимость учитывать и присущие трубопроводному транспорту недостатки (зависимость экспортеров газа от позиции государств, по территории которых осуществляется транзит газа; случаи хищения газа; сложность поставки газа на территории, отделяемые морями и т. д.). Поэтому вполне обоснованной является необходимость создания системы альтернативного трубопроводам варианта транспортировки природного газа в сжиженном виде, хотя практическая реализация таких задач требует значительных капиталовложений.

Для решения социальной задачи – обеспечения населения газовым топливом – следует соединить преимущества природного газа с преимуществами сжиженного углеводородного газа (СУГ), и такой альтернативой является сжиженный природный газ (СПГ). Сжиженный природный газ является самым экологически чистым и безопасным из используемых в настоящее время видов топлива, а это открывает широкие перспективы его использования в промышленности, сельском хозяйстве, на транспорте и в жилищно-коммунальном хозяйстве. На сегодняшний день в России имеется надежная база и технические предпосылки для широкого использования сжиженного природного газа в хозяйстве страны.

Снабжение потребителей на базе СПГ экономически оправдано в следующих условиях:

- малые объемы потребления газа объектом, удаленным от магистрального газопровода;
- нестабильные сейсмические условия на участке предполагаемого строительства газопровода;
- сложный рельеф местности на предполагаемой трассе строительства газопровода;
- газифицируемый объект или предполагаемая трасса строительства газопровода находятся в районе с уникальным природным ландшафтом;
- наличие труднопреодолимой преграды на предполагаемой трассе строительства газопровода (море, река, горы).

Как топливо сжиженный метан обладает следующими преимуществами:

- возможность газификации объектов, удаленных от магистральных газопроводов сетевого газа;
- возможность хранения под небольшим избыточным давлением при температуре около 112К (–161 °С);
- нетоксичность, не вызывает коррозии металлов;
- высокая калорийность по сравнению с другими видами топлива;
- низкая температура кипения – гарантия полного испарения СПГ при самых низких температурах окружающего воздуха;
- эффективность и удобство хранения, транспортировки и потребления (при сжижении природного газа его плотность увеличивается в 600 раз).

Газоснабжение при помощи СПГ

Первые шаги по использованию сжиженного природного газа для энергосбережения в промышленности и коммунальном хозяйстве были осуществлены в Санкт-Петербурге и Ленинградской области. ООО "Газпром СПГ

Санкт-Петербург" является компанией специального назначения. Основной целью деятельности является проектирование, строительство и эксплуатация в Ленинградской области завода по производству сжиженного природного газа ("Балтийский СПГ"), а также сопутствующей инфраструктуры.

ОАО "Газпром" успешно развивает сегмент торговли и транспортировки СПГ (сжиженного природного газа). Сегодня компания поставляет СПГ более чем в десять стран. Здесь введены в действие две опытно-промышленные установки по производству СПГ, кроме того, несколько удаленных котельных в области работают на привозном сжиженном природном газе. По заказу ООО "Лентрансгаз" в ОАО "Криогенмаш" на базе накопленного опыта по внедрению детандер-компрессорных агрегатов была разработана технология сжижения природного газа с использованием энергии перепада давления газа на ГРС. На рис. 1 приведена принципиальная схема установки сжижения ПГ и схемы доставки и использования СПГ. Установки сжижения ПГ разработана применительно к ГРС "Никольская" (Ленинградская область) с расходом природного газа 8 000 м³/ч, с расчетным давлением на входе в ГРС, равным 3,3 МПа, и на выходе – 0,28–0,6 МПа. Расчетная производительность установки по СПГ равна 24 тоннам в сутки.

В планах компании "Криогаз", подконтрольной Газпромбанку, был запуск к концу 2015 г. комплекса сжижения природного газа в Пскове стоимостью 625 млн рублей. К 2019 г. на Северо-Западе у компании должно было быть шесть площадок СПГ с общим объемом выпуска почти 1 млрд т.

Установка сжижения природного газа состоит из блока теплообменников вымораживателей, системы охлаждения компримированного газа, блока сжижения, двухступенчатого турбодетандер-компрессорного агрегата, автоматизированной системы контроля и управления работой установки (АСКУ), арматуры, в том числе управляемой, и КИП.

Технология компании "Криогаз" дополнительных затрат энергии не требует, все остальные технологии – это создание высокого давления, понижение температуры, т. е. энергозатратные процессы. По словам директора компании данная методика не требует больших капитальных вложений и основана на использовании той энергии, которую "Газпром" уже заложил в свой газ, идущий по магистральным трубопроводам.

В настоящее время в ОАО "Газпром" разработана программа работ по решению актуальных задач газификации населенных пунктов, отдаленных от газопроводов. По оценкам специалистов ВНИИпромгаза, около 50 %

населенных пунктов, нуждающихся в газификации, экономически целесообразно обеспечивать газовым топливом в виде привозного СПГ.

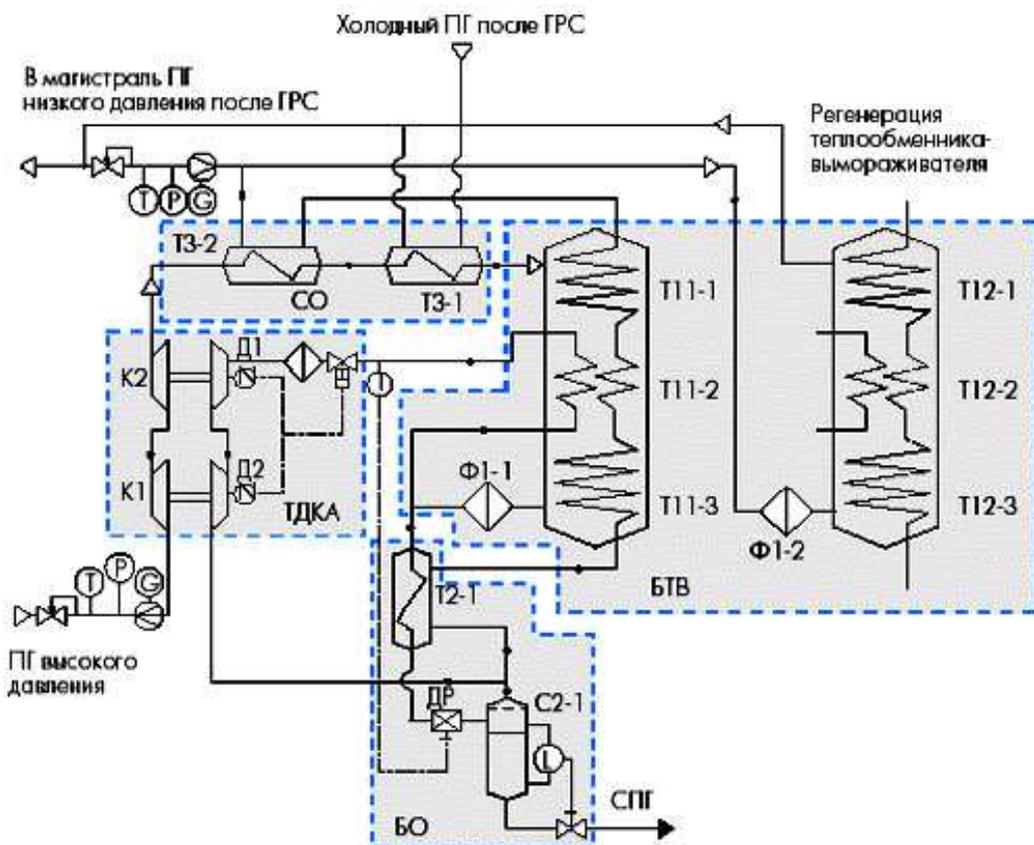
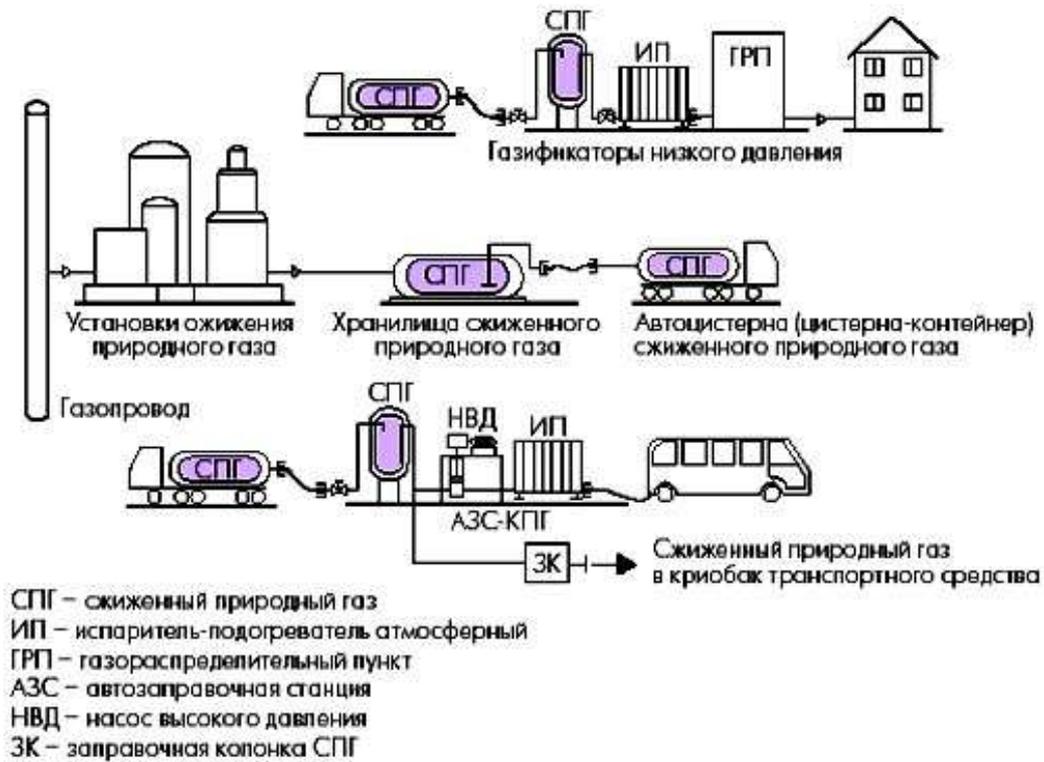


Рисунок 1 – Принципиальная схема установки сжижения ПГ и его транспортирования и газификации у потребителей

Другой причиной необходимости ускорения работ по использованию СПГ является то, что все крупнейшие месторождения природного газа в России находятся в удаленных районах, неблагоприятных для строительства транспортных газопроводов, и наиболее целесообразным представляется транспортировка газа в жидком состоянии.

На сегодняшний день все основные российские газовые месторождения располагаются именно в таких районах (Баренцево море, шельф Карского моря, остров Сахалин и т. д.), что обуславливает необходимость строительства крупных заводов по производству СПГ в местах перспективных месторождений.

Тепловые балансы СПГ как топлива и источник холода

Соотношение объемов – из одного объема СПГ получается 600 объемов природного газа.

Низшая теплота сгорания СПГ при нормальных условиях – $Q_n^p = 11\,500$ ккал/кг = 48,15 МДж/кг.

В табл. 1 приведено сравнение эффективности использования СПГ для газификации котельных малой мощности (до 10 Гкал/час) по отношению к другим видам топлив. Как видно из табл. 2, СПГ обладает наивысшей теплотой сгорания. Этот показатель измеряется в килокалориях на килограмм сжигаемого топлива. Таким образом, использование в качестве топлива СПГ позволяет получать эквивалентное количество тепловой энергии при меньшем количестве сжигаемого топлива.

Таблица 1 – Сопоставление видов топлива

Вид топлива	Низшая теплота сгорания, Ккал/кг	Среднее значение КПД котельных установок, %	Количество топлива для производства 1Гкал тепла, кг
Природный газ (существующий газопровод)	11400	92	95
СПГ	11500	92	95
Мазут М100	9700	86	120
СУГ (пропан-бутан)	11000	92	99
Дизельное топливо	10180	89	110

© dolgikh.com

Также СПГ обладает наивысшим значением КПД котельных установок. Применение в качестве топлива СПГ позволяет добиться коэффициента полезного действия котельных установок равного 92%. Аналогичный КПД возможно получить только при использовании природного газа и пропан-бутана.

При сжигании 1 кг ПГС образуется:

$$V_{CO_2} = 1,25 \text{ м}^3 \text{ CO}_2 (2,475 \text{ кг}) \text{ при плотности } \rho_{CO_2} = 1,98 \text{ кг/м}^3;$$

$$V_{H_2O} = 2,675 \text{ м}^3 \text{ H}_2\text{O} (2,14 \text{ кг}) \text{ при плотности } \rho_{H_2O} = 0,803 \text{ кг/м}^3;$$

$$V_{N_2} = 7,51 \text{ м}^3 \text{ N}_2 (5,82 \text{ кг}) \text{ при плотности } \rho_{N_2} = 1,29 \text{ кг/м}^3.$$

Парциальное давление водяных паров в продуктах сгорания $p_{100} = 0,02$ МПа.

Парциальное давление водяных паров в продуктах сгорания на линии насыщения при температуре $30 \text{ }^\circ\text{C}$ $p_{30} = 0,004$ МПа.

Количество сконденсированной воды в КУТ при охлаждении продуктов сгорания до при температуры $30 \text{ }^\circ\text{C}$:

$$G_{H_2O} = V_{H_2O} \rho_{H_2O} (1 - p_{30}/p_{100}) = 2,14(1 - 0,004/0,02) = 1,712 \text{ кг}.$$

При этом выделится следующее количество теплоты:

$$Q_{\text{кон}} = r G_{H_2O} = 2 500 \cdot 1,712 = 4 280 \text{ кДж/кг}.$$

Что составляет от $Q_{\text{н}}^p = 48,15$ МДж/кг $8,9 \%$.

Для обеспечения нормальных условий за конденсационным утилизатором тепла (далее – КУТ), необходимо обеспечить температуру за КУТ не ниже $t_{\text{общ}} = 70 \text{ }^\circ\text{C}$. Для этого часть продуктов сгорания необходимо направлять мимо КУТ по байпасу.

Из температурного баланса при температуре уходящих газов за КУТ $t_{\text{кут2}} = 40 \text{ }^\circ\text{C}$ и перед КУТ $t_{\text{кут1}} = 120 \text{ }^\circ\text{C}$ находим долю газов идущую в КУТ x :

$$(1 - x) t_{\text{кут1}} + x t_{\text{кут2}} = t_{\text{общ}}$$

$$(1 - x) 120 + x 40 = 70, x = 0,625.$$

Следовательно мы можем полезно использовать только следующее количество тепла:

$$Q_{\text{кон}}^{\text{пол}} = x Q_{\text{кон}} = 0,625 \cdot 4 280 = 2 675 \text{ кДж/кг}.$$

С учётом охлаждения продуктов сгорания от $t_{\text{кут1}} = 120 \text{ }^\circ\text{C}$ до $t_{\text{общ}} = 70 \text{ }^\circ\text{C}$ и конденсации водяных паров КУТ получим количество тепла, которое может быть использовано для нагрева ГВС:

$$Q_{\text{ГВС}} = Q_{\text{кон}}^{\text{пол}} + (I_{\text{yx1}} - \alpha I_{\text{yx2}}) = 2 675 + (2 652 - 1 529) = 3 798 \text{ кДж/кг},$$

где $I_{\text{yx1}} = 1 909 \text{ кДж/м}^3 = 2 652 \text{ кДж/кг}$ – энтальпия продуктов сгорания СПГ из таблицы XVI [1] для температуры $t_{\text{кут1}} = 120 \text{ }^\circ\text{C}$ и коэффициенте избытка воздуха $\alpha = 1,1$ при плотности природного газа $0,72 \text{ кг/м}^3$;

где $I_{\text{yx2}} = 1 101 \text{ кДж/м}^3 = 1 529 \text{ кДж/кг}$ – энтальпия продуктов сгорания СПГ из таблицы XVI [1] для температуры $t_{\text{кут1}} = 70 \text{ }^\circ\text{C}$ и коэффициенте избытка воздуха $\alpha = 1,1$ при плотности природного газа $0,72 \text{ кг/м}^3$.

Экономия при этом составит $\Delta\eta_{\text{КУТ}} = 3\,798/48\,150 = 0,079 = 7,9\%$ топлива.

Расход топлива для котла ДКВр-10-13ГМ составит:

$$B = D(i_{\text{п}} - i_{\text{пв}})/[Q_{\text{н}}^{\text{п}}(\eta_{\text{ка}} + \Delta\eta_{\text{КУТ}})] = 2,78(2\,960 - 419)/[48\,150(0,92 + 0,079)] = 0,147\text{ кг/с},$$

где $D = 10\text{ т/ч} = 2,78\text{ кг/с}$;

$i_{\text{п}} = 2\,960\text{ кДж/кг}$ – энтальпия пара;

$i_{\text{пв}} = 419\text{ кДж/кг}$ – энтальпия питательной воды;

$\eta_{\text{ка}} = 0,92$ КПД котла без КУТ.

При помощи КУТ при расходе воды ГВС $G_{\text{ГВС}} = 1,82\text{ кг/с}$ (например для посёлка Ёнский, где открытая система теплоснабжения) можно нагреть воду (температура $t_{\text{хв}} = 5\text{ }^{\circ}\text{C}$), идущую на ГВС до температуры:

$$t_{\text{вод}}^{\text{КУТ}} = t_{\text{хв}} + B Q_{\text{ГВС}}/(C_{\text{в}} G_{\text{ГВС}}) = 5 + 0,147 \cdot 3\,798/(4,19 \cdot 1,82) = 78\text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Получения твёрдого CO_2 "сухого льда"

Техническая и пищевая угольная кислота используется в различных отраслях производства. Однако промышленность ощущает острый дефицит в этом продукте. Установок, выпускающих углекислоту, недостаточно.

В то же время, в отходящих топочных газах котлов она содержится практически в неограниченном количестве. Необходимо разработать технологию и схемное решение малогабаритной установки для возможности получения от 1 до 3 т/сут. углекислоты на каждом производстве, имеющем котлы с частичным размещением ее в существующих помещениях.

Как отмечалось ранее при сжигании 1 кг ПГС образуется:

$$V_{\text{CO}_2} = 1,25\text{ м}^3\text{ CO}_2\text{ (}G_{\text{CO}_2} = 2,475\text{ кг)}\text{ при плотности } \rho_{\text{CO}_2} = 1,98\text{ кг/м}^3.$$

Для получения твёрдого CO_2 "сухого льда" необходимо использовать продукты сгорания, выходящие из КУТ с температурой $t_{\text{КУТ}2} = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$, энтальпия которых будет:

$$I_{\text{ух}2} = 1\,101\text{ кДж/м}^3 = 1\,529\text{ кДж/кг}.$$

Для испарения 1 кг СПГ требуется $r_{\text{СПГ}} = 511\text{ кДж/кг}$.

И для нагрева 1 кг СПГ от температуры испарения $t_{1\text{СПГ}} = -160\text{ }^{\circ}\text{C}$ до температуры $t_{2\text{СПГ}} = 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ещё необходимо ему передать от продуктов сгорания следующее количество тепла:

$$\Delta Q_{\text{СПГн}} = (t_{2\text{СПГ}} - t_{1\text{СПГ}}) c_{\text{р}0} = (5 + 160) \cdot 2,0 = 330\text{ кДж/кг},$$

где $c_{\text{р}0} = 2\text{ кДж/(кг}\cdot\text{K)}$ – средняя теплоёмкость природного газа.

Удельная теплоемкость метана при температуре $-73\text{ }^{\circ}\text{C}$ составляет $2,087\text{ кДж}/(\text{кг}\cdot^{\circ}\text{C})$, а при 2°C – $2,191\text{ кДж}/(\text{кг}\cdot^{\circ}\text{C})$

В итоге для газификации 1 кг СПГ до данной температуры потребуется:

$$\Delta Q_{\text{СПГ}\Sigma} = r_{\text{СПГ}} + \Delta Q_{\text{СПГн}} = 511 + 330 = 841\text{ кДж}/\text{кг}.$$

Как только температура охлаждения продуктов сгорания достигнет значения $-78,47\text{ }^{\circ}\text{C}$ (температура сублимации CO_2 при нормальном давлении P_n), углекислота из газообразной фазы будет переходить сразу в твердую фазу, как показано на рис. 2.

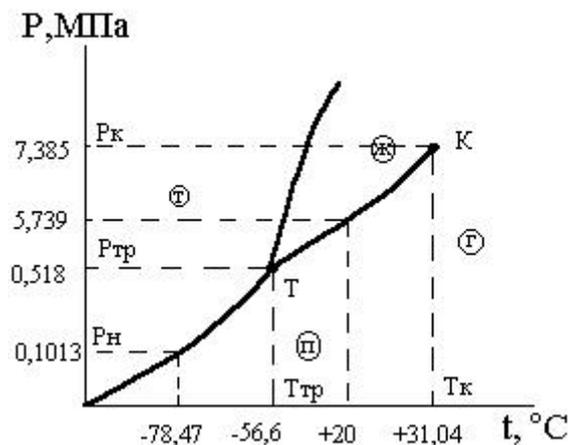


Рисунок 2 – Фазовая P-t диаграмма углекислого газа

Объем CO_2 в продуктах сгорания СПГ $V_{\text{CO}_2} = 0,99\text{ м}^3/\text{м}^3$.

Объем N_2 в продуктах сгорания СПГ $V_{\text{N}_2} = 7,46\text{ м}^3/\text{м}^3$.

Объем H_2O в продуктах сгорания СПГ $V_{\text{H}_2\text{O}} = 2,15\text{ м}^3/\text{м}^3$.

Объем продуктов сгорания СПГ $V_r = 10,6\text{ м}^3/\text{м}^3$.

После конденсации водяных паров в КУТ объем продуктов сгорания СПГ $8,45\text{ м}^3/\text{м}^3$.

Парциальное давление CO_2 в продуктах сгорания СПГ после КУТ составит:

$$p_{\text{CO}_2} = 0,1013 \cdot 0,99/8,45 = 0,0119\text{ МПа}.$$

Температура сублимации CO_2 в вакууме $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$, тогда при $p_{\text{CO}_2} = 0,0119\text{ МПа}$ она составит:

$$t_{\text{суб}} = -78,47 - (100 - 78,47) \cdot (0,1013 - 0,0119)/0,1013 = -97,5\text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Теплоёмкость CO_2 $c_{\text{CO}_2} = 1,6\text{ кДж}/(\text{м}^3\cdot\text{K})$ в интервале температур $30\dots-97,5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Теплоёмкость N_2 $c_{N_2} = 1,295$ кДж/(м³·К) в интервале температур 30...–97,5 °С.

Энтальпия продуктов сгорания после КУТ при температуре 30 °С составит:

$$I_{yx30} = V_{CO_2} \cdot c_{CO_2} t + V_{N_2} \cdot c_{N_2} t = 0,99 \cdot 1,6 \cdot 30 + 7,46 \cdot 1,295 \cdot 30 = 337,3 \text{ кДж/м}^3.$$

Энтальпия продуктов сгорания после КУТ при температуре –97,5 °С составит:

$$I_{yx-78,47} = V_{CO_2} \cdot c_{CO_2} t + V_{N_2} \cdot c_{N_2} t = \\ = -0,99 \cdot 1,6 \cdot 78,47 - 7,46 \cdot 1,295 \cdot 78,47 = -1096,4 \text{ кДж/м}^3.$$

Энтальпия продуктов сгорания после КУТ при температуре –97,5 °С и сублимации CO_2 составит:

$$I_{yx-78,47\text{суб}} = I_{yx-78,47} - V_{CO_2} \cdot \rho_{CO_2} \cdot r_{CO_2} = -882,4 - 0,99 \cdot 1,98 \cdot 574,6 = -1\,916 \text{ кДж/м}^3.$$

Количество тепла, которое необходимо забрать у продуктов сгорания после КУТ для превращения CO_2 в сухой лёд:

$$\Delta Q_{\text{субл.}} = x(I_{yx30} - I_{yx-78,47\text{суб}}) = 0,625 \cdot (337,3 + 1\,916) = 1\,408 \text{ кДж/м}^3.$$

Это на 1 м³ расхода СПГ, на 1 кг СПГ $\Delta Q_{\text{субл.}} = 1\,408/0,72 = 1\,956$ кДж/кг.

Для газификации 1 кг СПГ, как определено ранее, до температуры 5 °С необходимо передать ему всего $\Delta Q_{\text{СПГ}\Sigma} = 841$ кДж/кг.

Из этого выходит, что сухой лёд можно получить только из части продуктов сгорания, прошедших через КУТ, что составит от всех:

$$x' = x \cdot (\Delta Q_{\text{СПГ}\Sigma} / \Delta Q_{\text{субл.}}) = 0,626 \cdot (841/1\,956) = 0,269.$$

Схема разделения продуктов сгорания на получения тепла для ГВС и сухого льда показана на рис. 3.

При отводе части продуктов сгорания из КУТ в трубу при сохранении температура в 70 °С количество газов, идущих в КУТ можно увеличить. Из температурного баланса имеем:

$$70 \cdot (1 - x') = 120 \cdot y + 40 \cdot (1 - x' - y) \\ 70 \cdot (1 - 0,269) = 120 \cdot y + 40 \cdot (1 - 0,269 - y) \\ y = 0,27.$$

Это говорит, что тепла на ГВС можно использовать в $(1 - 0,27)/0,628 = 1,155$ раз больше, что составит:

$$Q_{\text{ГВС}} = 3\,798 \cdot 1,155 = 4\,387 \text{ кДж/кг.}$$

При этом КПД от КУТ увеличится на: $4\,387/48\,150 = 0,091 = 9,1\%$.

Расход топлива для котла ДКВр-10-13ГМ составит:

$$B = D(i_{пв} - i_{пв})/[Q^p_n (\eta_{ка} + \Delta\eta_{кут})] = \\ = 2,78(2\,960 - 419)/[48\,150 (0,92 + 0,091)] = 0,145 \text{ кг/с.}$$

При этом будет получено "сухого льда":

$$G_{сл} = x B G_{CO_2} = 0,269 \cdot 0,145 \cdot 2,475 = 0,097 \text{ кг/с} = 348 \text{ кг/ч} = 8\,352 \text{ кг/сут.}$$

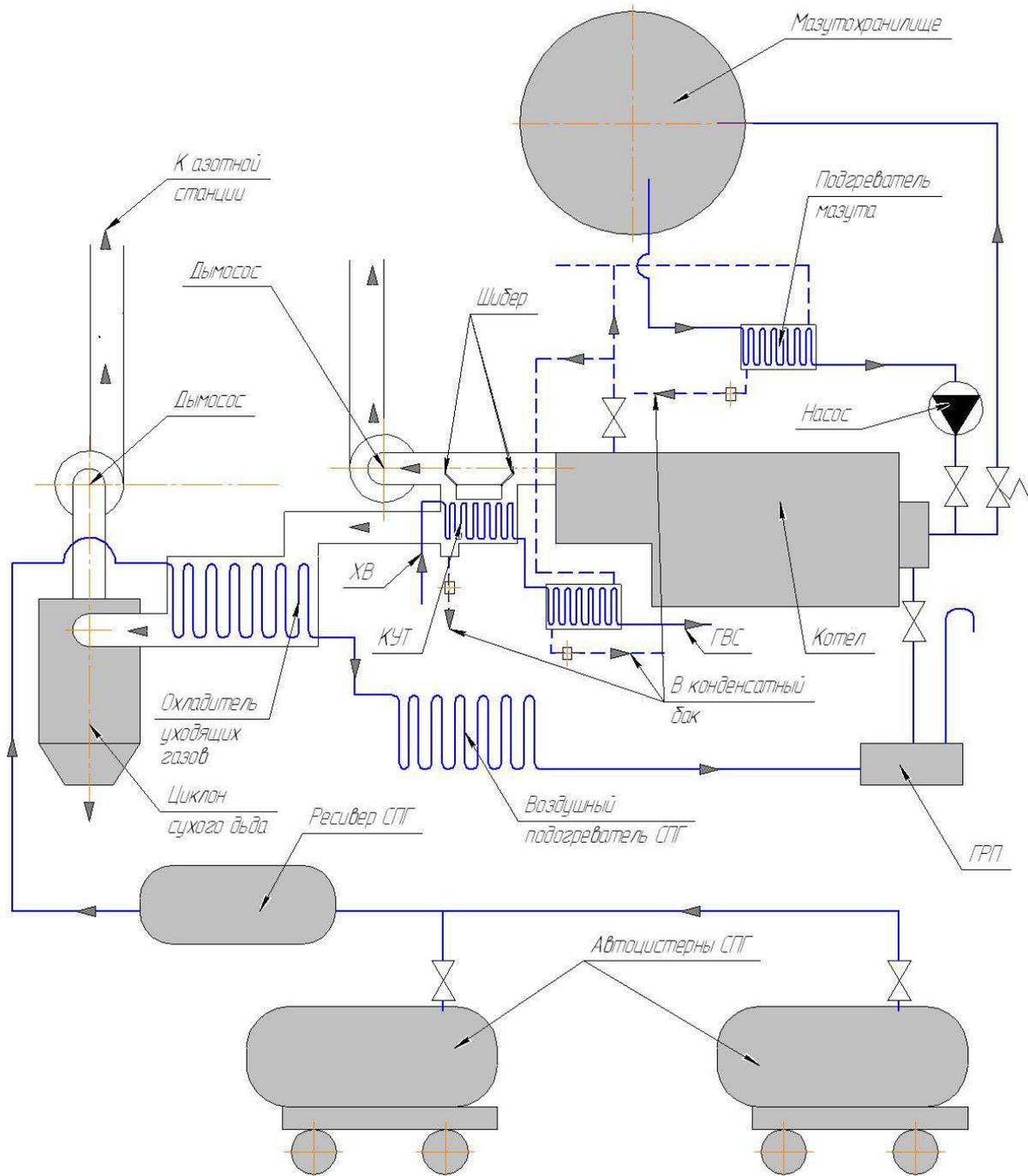


Рисунок 3 – Схема разделения продуктов сгорания на получения тепла для ГВС и сухого льда

Дополнительно может быть получено конденсата водяных паров:

$$G_{H_2O} = (1 - y) B G_{H_2O} = 0,71 \cdot 0,145 \cdot 1,712 = 0,176 \text{ кг/с} = 634 \text{ кг/ч} = 15\,206 \text{ кг/сут},$$

где $G_{H_2O} = 1,712 \text{ кг/кг}$ – количество сконденсированных водяных паров в КУТ (получено ранее).

Дополнительно может быть получен охлаждённый до -90°C азота:

$$G_{N_2} = x B G_{N_2} = 0,269 \cdot 0,145 \cdot 5,82 = 0,227 \text{ кг/с} = 817 \text{ кг/ч} = 19\,614 \text{ кг/сут}.$$

Что в 40-литровых баллонах составит в сутки:

$$n = 19\,614 \cdot 0,1 / (40 \cdot 10^{-3} \cdot 1,924 \cdot 14,7) = 1\,734 \text{ шт.}$$

Плотность при температуре -90°C азота составляет:

$$\rho_{N_2-90} = \rho_{N_2} [273 / (273 - 90)] = 1,29 \cdot 1,492 = 1,924 \text{ кг/м}^3.$$

Мощность компрессора для закачки азота в баллоны:

$$N_{\text{ком}} = G_{N_2} P / (\rho_{N_2-90} \cdot \eta_{\text{ком}}) = 0,227 \cdot 14,7 / (1,924 \cdot 0,8) = 2,167 \text{ МВт}.$$

Затраты электрической энергии на закачку одного баллона составят:

$$N_{\text{балл}} = N_{\text{ком}} \cdot 24 / n = 2,167 \cdot 24 / 1\,734 = 0,003 \text{ МВт} \cdot \text{ч} = 3 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

При тарифе 2,62 рублей за 1 кВт·ч одна заправка баллона азотом обойдётся в 7,86 рублей. Заправка в Мурманске такого баллона обойдётся в 650 рублей.

Это потенциальные возможности и затраты. При наличии потребителей этот потенциал можно использовать полностью.

Выводы

Оборудование котельной с котлом ДКВр-10-13ГМ топливной системой от транспортной цистерны СПГ позволяет при применении подогревателя СПГ, охладителем продуктов сгорания в КУТ, азотной станцией, получающей азот из продуктов сгорания при сублимации из них углекислого газа и конденсации водяных паров повысить КПД котла на 9,1 %, подогреть воду ГВС до 73°C , получать по 15 206 кг в сутки водяного конденсата, получать по 8 352 кг в сутки "сухого льда" (твёрдый CO_2), при затратах электричества в 3 кВт·ч на одну заправку можно заполнять в сутки более 1 000 штук 40-литровых баллонов азотом.

Все эти материалы могут быть свободно реализованы на местных площадках: "сухого льда" востребован секторе охлаждения продуктов, кон-

денсат можно использовать для подпитка котла и тепловых сетей, азот, как инертный газ в различных отраслях.

Конкретные теплообменники для КУТ и подогревателя СПГ могут быть собраны из стандартных биметаллических калориферов Костромского завода.

Библиографический список

1. Тепловой расчёт котлов (нормативный метод). – 3-е изд., перераб. и доп. Изд. НПОЦКТИ. – СПб., 1998. – 266 с. : ил.
2. Правила безопасности при проектировании и эксплуатации систем приема, хранения, заправки и газификации сжиженного природного газа на объектах потребителя, Санкт Петербург, 2003 г.
3. Баскакова А. П., Мунц В. А., Филипповский Н. Ф. Анализ возможностей глубокого охлаждения продуктов сгорания котельных установок // Промышленная энергетика. 2009. № 10.
4. Патент РФ № 2161754 Котельная, работающая на сжиженном природном газе Автор: Финько В. Е., Финько В. В. публикация патента: 10.01.2001.

Проблематика энергоэффективности работы компрессорных станций

Черепанов А. В. (г. Тюмень, ФГБОУ ВО "Тюменский индустриальный университет", кафедра транспорта углеводородных ресурсов)

Аннотация. Газовая промышленность России имеет высокий темп роста на фоне увеличения всеобщего энергопотребления. Одновременно с этим наблюдается истощение запасов многих крупных месторождений. В связи с этим одной из главных проблем оптимального и рационального развития топливно-энергетического комплекса России является увеличение эффективности использования и экономии ресурсов энергетики.

Abstract. Russian gas industry has a high growth rate on the background of the general increase in energy consumption. At the same time, the depletion of many large deposits there. In this connection, one of the main problems of the optimal and rational development of the fuel and energy complex of Russia is increase the efficiency of the use and cost of energy resources.

Ключевые слова: Энергоэффективность, проблематика, компрессорная станция, трубопроводный транспорт, природный газ, эксплуатация.

Key words: Energy efficiency, problems, compressor stations, pipeline transport, natural gas, operation.

Газовая промышленность в России представляет собой одну из отраслей топливно-энергетического комплекса, обладающего наибольшими темпами роста.

В рамках "Энергетической стратегии России на период до 2020 г." предусмотрено планомерное увеличение объемов добычи природного газа. Стратегией предусмотрено как увеличение объемов газа, поступающего на экспорт, так и наращивание газопотребления внутри страны. Не остались без внимания и вопросы по реализации технологических и организационных мер, направленных на увеличение энергоэффективности отрасли.

В ближайшее десятилетие планируется запуск новых месторождений газа и газового конденсата. Большинство новых крупных месторождений находятся за полярным кругом. По оценкам экспертов основным регионом добычи газа в России до 2030 г. остается Надым-Пур-Тазовский регион Западной Сибири. В данном регионе расположены основные месторождения, находящиеся в эксплуатации, а также месторождения, ввод которых запланирован на ближайшее десятилетие. По предварительным оценкам, объем добычи газа по месторождениям Надым-Пур-Тазовского региона (без учета месторождений на Обской и Тазовской губе) до 2020 г. будет составлять 54–57 %

от общей добычи природного газа. С 2020 по 2030 г. доля региона снизится до 31–33 % [4].

В настоящее время наблюдается тенденция увеличения энергопотребления. Газ, как один из основных энергоносителей, имеет не последнее значение в энергетической обеспеченности. По оценкам экспертов разведанные запасы природного газа в мире смогут обеспечить текущий уровень добычи еще на 60 лет. Если принять во внимание темпы роста газопотребления, которые демонстрируют развивающиеся страны, наличие колоссальных запасов природного газа в нетрадиционных источниках (таких как газовые гидраты) и неполную разведанность запасов, то можно предположить, что запасов голубого топлива в недрах хватит еще на 100 лет в долгосрочной перспективе. В настоящее время наблюдается истощение запасов многих месторождений, особенно это актуально в России, где большая часть добычи природного газа приходится на уникальные и крупные месторождения. В связи с этим, одной из главных проблем оптимального и рационального развития топливно-энергетического комплекса России, является увеличение эффективности использования и экономии ресурсов энергетики.

Как было сказано ранее, основной объем добычи природного газа в России приходится на северные месторождения, для которых характерно падение пластового давления на завершающих этапах разработки месторождений. Снижение пластового давления является предпосылкой к возникновению следующей проблемы – необходимости компримирования природного газа на промыслах до давления, необходимого для подачи в магистральные газопроводы внешнего транспорта. Для увеличения давления газа на выходе технологического оборудования установок по комплексной подготовке газа применяют дожимные компрессорные станции (ДКС). Со снижением пластового давления на месторождениях возникает необходимость постоянно увеличивать количество газоперекачивающих агрегатов на ДКС. С ростом числа агрегатов растут и объемы природного газа, которые потребляет ДКС для собственных нужд, так как в большинстве газоперекачивающих агрегатов природный газ выступает в качестве топлива для двигателей. На месторождениях с аномально низкими пластовыми давлениями на собственные нужды расходуется до 10 % добываемого природного газа.

В теории можно предположить, что за снижением пластового давления и уменьшением запасов месторождения должно последовать естественное уменьшение добычи газа. Соответственно, должна снижаться теоретически

необходимая мощность газоперекачивающих агрегатов, и, как следствие этого, снижение расхода топливного газа. На практике же наблюдается тенденция к росту удельного расхода газа на собственные нужды ДКС по мере "старения" месторождения.

При транспортировке товарного газа по магистральным газопроводам возникает проблема непостоянства объемов перекачиваемого газа во времени. Непостоянство объемов перекачки вызывает динамичное изменение параметров работы газоперекачивающих агрегатов. При перекачке запланированного объема природного газа в работу вводят необходимое число агрегатов. Если же объемы газа динамично изменяются, возникает необходимость оперативно регулировать работу агрегата. Регулировка происходит по средствам изменения рабочей частоты ротора газоперекачивающего агрегата. В стационарном режиме работы изменение частоты не влечет за собой кардинального увеличения расхода топливного газа. Однако, на месторождениях с истощающимися запасами нередки случаи самоглушения скважин из-за высокой обводненности, промывки шлейфов и фонтанного оборудования, что влечёт за собой останов скважины и резкое снижение объемов газа, поступающего на вход в ДКС. При резком изменении частоты вращения ротора агрегат выходит из оптимального режима работы, что влечет за собой повышенное потребление топливного газа и снижение КПД оборудования.

Энергетическая эффективность работы компрессорных станций и магистральных газопроводов зависит не только от режимов работы, но и от общего технического состояния агрегатов и оборудования компрессорных станций. Учеными, проводившими анализ возможного применения параметрической диагностики работы газоперекачивающих агрегатов [2,3,5] установлено, что при возникновении неисправностей в функционировании агрегатов снижается их энергетическая эффективность. Т. е. при возникновении неисправностей наблюдается снижение коэффициентов технического состояния агрегата, коэффициента полезного действия и располагаемой мощности агрегата. Снижение этих коэффициентов вызывает отказ оборудования из-за отклонения выходных параметров от заданных в автоматизированных системах управления и контроля. Подсчитано, что реальная мощность газоперекачивающих агрегатов в межремонтном периоде снижается на 10–20 % при снижении эффективного коэффициента полезного действия более чем на 10 %.

Кроме этого существует проблема оценки фактической рабочей мощности газоперекачивающих агрегатов. На производственных объектах под-

готовки газа мощность агрегатов, в основном, определяют через косвенные показатели, такие как расход топливного газа, температура и давление. Данные показатели связаны между собой и мощностью известными термодинамическими соотношениями, но в большинстве случаев, фактические данные о параметрах работы агрегатов отсутствуют.

Исходя из того, что в качестве основных потребителей топливного газа на ДКС выступают газоперекачивающие агрегаты, то основным способом оптимизации работы оборудования в сфере энергоэффективности может стать снижение расхода газа на собственные нужды при эксплуатации газоперекачивающих агрегатов.

С исторической точки зрения, наиболее эффективным способом снижения удельного энергопотребления при работе газотранспортного оборудования, стало строительство и ввод в эксплуатацию новых магистральных газопроводов. Стоит отметить, что в последнее время строительство новых газопроводов не ведется, по крайней мере, в тех объемах, которые необходимы для заметного снижения энергопотребления. Таким образом, данный способ оптимизации не позволит улучшить показатели энергоэффективности на старых месторождениях. Запланированные на ближайшее десятилетие объемы строительства новых магистральных газопроводов, даже при условии применения современных энергосберегающих технологий и материалов, не смогут кардинально изменить показатели энергоемкости и эффективности работы газотранспортной сети России. Однако, современные энергосберегающие технологии должны применяться на новых месторождениях при строительстве газотранспортных сетей. К таким технологиям можно отнести: применение труб с внутренним гладким покрытием, снижающим трение и энергетические затраты при транспорте газа; строительство газоперекачивающих агрегатов нового поколения, обладающих высокой экономической и энергетической эффективностью; применение энергосберегающих низконапорных газотранспортных систем.

Актуальным направлением, в последнее время, является комплексный подход к оценке надежности и энергетической эффективности объектов магистральных газопроводов при помощи математического моделирования.

Основной и наименее затратной статьей эксплуатационных мероприятий по энергосбережению является оптимизация технологических процессов и режимов работы оборудования. Комплексы для осуществления моделирования и оптимизации режимов работы основного оборудования газотранс-

портных систем, разрабатываемые и применяемые в России в настоящее время, априори ориентированы на диспетчерский контроль и управление режимами транспорта природного газа как на уровне газотранспортных обществ, так и на высшем уровне – уровне центрального диспетчерского управления Единой системой газоснабжения.

Быстрое развитие автоматизированных средств диспетчерского контроля и управления предоставляет широкий диапазон возможностей увеличения энергоэффективности магистральных газотранспортных сетей, однако, для реализации данных возможностей необходима разработка математических моделей и методологии технологических процессов.

Для достижения максимального эффекта необходимо использование фактических эксплуатационных характеристик газоперекачивающего оборудования, для этого необходим их оперативный контроль и своевременное уточнение.

Подытожив все вышесказанное, можно сформулировать основные выводы: в сфере добычи, подготовки и транспорта природного газа существует ряд проблем, оказывающих негативное воздействие на энергоэффективность работы основного оборудования компрессорных станций и магистральных газопроводов. На предприятиях по подготовке и транспортировке природного газа существует потребность в наличии методологии и средств программного обеспечения, позволяющих в режиме реального времени производить оценку текущего состояния технологического оборудования газотранспортных сетей, при этом оперируя лишь штатными измерениями режимных параметров работы. Значительную экономию энергетических ресурсов и топливного газа можно получить путем оптимизации технологического процесса магистрального транспорта газа, при этом необходим контроль реального технического состояния рабочего оборудования газотранспортных сетей. Для повышения энергоэффективности необходимо усовершенствование методик расчетов основных эксплуатационных характеристик газоперекачивающих агрегатов, которые позволят снизить энергопотребление за счет высокой точности выбора технологического режима работы при планировании перспективных газотранспортных сетей. Решение некоторых задач увеличения энергоэффективности транспорта природного газа возможно лишь при полной замене технологического оборудования.

С решением подобных задач, связанных с истощением месторождений природного газа и газового конденсата сталкиваются на многих нефтегазо-

добывающих предприятиях. Решение этих задач позволит сократить имеющееся место резкое увеличение энергоемкости разработки месторождений в условиях падающей добычи.

Библиографический список

1. Емельянов А. А. Имитационное моделирование технологических процессов. М. : Финансы и статистика, 2006. 416 с.

2. Зарицкий С. П. Диагностика газоперекачивающих агрегатов с газотурбинным приводом. М. : Недра, 1987. 198 с.

3. Зарицкий С. П., Лопатин А. С. Диагностика газоперекачивающих агрегатов : учеб. пособие (в 5 ч). М. : РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина, 2003. 598 с.

4. Зюзьков В. В. Методы повышения энергоэффективности компрессорных станций при реконструкции магистральных газопроводов : дисс-я кандидата технических наук. М., 2011. 160 с.

5. Поршаков Б. П., Апостолов А. А., Никишин В. И. Газотурбинные установки на газопроводах. М. : ГУП Изд-во "Нефть и газ" РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина, 2003. 240 с.

6. Усенко В. М. Строительство и монтаж компрессорных станций магистральных газопроводов. Сб. научных трудов. Вып. 11. М. : Всесоюзный научно-исследовательский институт по строительству магистральных трубопроводов, 1961. 148 с.

Научное издание

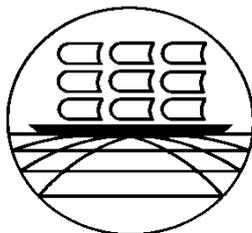
НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ В АРКТИЧЕСКОМ РЕГИОНЕ
МАТЕРИАЛЫ МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
(Мурманск, 3–7 апреля 2017 г.)

Ответственный за выпуск *М. А. Волков*
Компьютерная верстка *Г. М. Плишко*

Налоговая льгота – Издания соответствуют коду 58.11.1 ОКПД 2 ОК 034-2014
(КПЕС 2008)

Издательство МГТУ. 183010, Мурманск, Спортивная, 13.
Сдано в набор 27.09.2017. Подписано в печать 13.10.2017. Формат 60×84¹/₁₆.
Бум. типографская. Усл. печ. л. 15,11. Уч.-изд. л. 11,66. Заказ 227. Тираж 100 экз.

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
"МУРМАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ"
ФАКУЛЬТЕТ АРКТИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ**



**НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ
В АРКТИЧЕСКОМ РЕГИОНЕ**

МАТЕРИАЛЫ МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

(Мурманск, 3–7 апреля 2017 г.)

Мурманск
Издательство МГТУ
2017

