

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ИНСТИТУТ ГИДРОДИНАМИКИ ИМ. М. А. ЛАВРЕНТЬЕВА
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ИНСТИТУТ НЕФТЕГАЗОВОЙ ГЕОЛОГИИ И
ГЕОФИЗИКИ ИМ. А. А. ТРОФИМУКА
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
"НОВОСИБИРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ"

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
"СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК"

V ВСЕРОССИЙСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ

ПОЛЯРНАЯ МЕХАНИКА

9 – 11 октября 2018 г.

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

Новосибирск
2018

Программный комитет:

Головин С. В., д. ф.- м. н. — сопредседатель (ИГиЛ СО РАН)
Ельцов И. Н., д. т. н. — сопредседатель (ИНГГ СО РАН)
Фролов И. Е., чл.-корр. РАН — сопредседатель (ФГБУ “ААНИИ”)
Бузник В. М., академик — сопредседатель (ФГУП “ВИАМ” ГНЦ РФ)
Тимофеев О. Я., д. т. н. — сопредседатель (ФГУП “Крыловский государственный научный центр”)
Беккер А. Т., д. т. н. — сопредседатель (Инженерная школа ДВФУ)
Ашик И. М., к. г. н. (ФГБУ “ААНИИ”)
Беллендир Е. Н., д. т. н. (ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева)
Благовидов Л. Б. (ЦКБ “Коралл”)
Большев А. С., д. т. н. (Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого)
Григорьев М. Н., д. г. н. (ИМЗ СО РАН)
Губайдуллин А. А., д. ф.- м. н. (Тюменский филиал ИТПМ СО РАН)
Ерманюк Е. В., д. ф.- м. н. (ИГиЛ СО РАН)
Ермилов О. М., академик (ЯНФ ИНГГ СО РАН)
Иванов И. И., проф. (МГУ им. М. В. Ломоносова)
Каширцев В. А., чл.-корр. РАН (ИНГГ СО РАН)
Ким Л. В., к. т. н. (Инженерная школа ДВФУ)
Козин В. М., д. т. н. (ИМИМ ДВО РАН)
Коробейников С. Н., д. ф.- м. н. (ИГиЛ СО РАН)
Лебедев М. П., чл.-корр. РАН (Якутский научный центр)
Левин Б. В., чл.-корр. РАН (ИМИМ ДВО РАН)
Мансуров М. Н., проф. (ООО “Газпром ВНИИГАЗ”)
Морозов Е. Г., д. ф.- м. н. (ИО РАН)
Петров И. Б., чл.-корр. РАН (МФТИ)
Плотников П. И., чл.-корр. РАН (ИГиЛ СО РАН)
Поломошнов А. М., к. т. н. (РН–Шельф–Арктика)
Пухначев В. В., чл.-корр. РАН (ИГиЛ СО РАН)
Рудой Е. М., д. ф.- м. н. (ИГиЛ СО РАН)
Сазонов К. Е., д. т. н. (ФГУП “Крыловский государственный научный центр”)
Соколова М. Д., д. т. н. (ИПНГ СО РАН)
Соломина О. Н., чл.-корр. РАН (ИГ РАН)
Шелухин В. В., д. ф.- м. н. (ИГиЛ СО РАН)

Первая Всероссийская конференция “Полярная механика” прошла 2 – 9 июня 2012 г. в Новосибирском научном центре и была организована Институтом гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН. Вторая Всероссийская конференция “Полярная механика” состоялась 3–5 июня 2014 г. в Санкт-Петербурге на базе Крыловского государственного научного центра. Организатором третьей международной конференции “Полярная механика” выступил Дальневосточный федеральный университет в г. Владивостоке и состоялась она 27–30 сентября 2016 г. Четвертая Всероссийская конференция “Полярная механика” с международным участием прошла 14–15 сентября 2017 г. в Санкт-Петербурге на базе Арктического и Антарктического научно-исследовательского института.

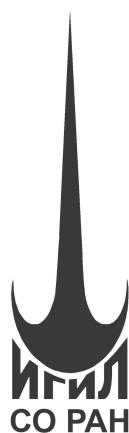
Целью конференции является координация работ и обмен информацией по состоянию исследований в области полярной механики и смежных наук, выполняемых научными, научно-техническими, и другими коллективами, а также определение приоритетных направлений фундаментальных и ориентированных научных исследований, нацеленных на решение задач освоения и рационального использования ресурсов Арктики и Антарктики. В ходе работы конференции будут представлены оригинальные сообщения по следующим научным направлениям:

- Механические, трибологические и реологические свойства льда;
- Математическое моделирование в механике льда;
- Моделированный лёд и опытные ледовые бассейны;
- Геолого-геофизические исследования в Арктике;
- Мерзлотоведение и газогидраты;
- Особенности строительства и эксплуатации инженерно-технических сооружений в полярных условиях: в условиях вечной мерзлоты, в прибрежной и шельфовой зоне, подводное строительство;
- Добыча и транспортировка полезных ископаемых в условиях Крайнего Севера;
- Навигация в ледовых условиях;
- Арктическое материаловедение;
- Гидродинамика и вычислительная гидрогазодинамика в арктических технологиях;
- Окружающая среда: полярная/арктическая и океан.

Оргкомитет конференции выражает благодарность за финансовую поддержку Российскому фонду фундаментальных исследований (код проекта 18-01-20078), Институту гидродинамики им. М. А. Лаврентьева СО РАН, Институту нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, а также Новосибирскому государственному университету.



ИНГГ
СО РАН



СОДЕРЖАНИЕ

АБЗАЕВ Ю. А., ГНЫРЯ А. И., КОРОБКОВ С. В., ГАУСС К. С. <i>3D моделирование упругих модулей гидратированного портландцемента</i>	13
АБЗАЕВ Ю. А., ГНЫРЯ А. И., КОРОБКОВ С. В., ГАУСС К. С. <i>Термодинамический анализ гидратации портландцемента</i>	14
АБЗАЕВ Ю. А., ГНЫРЯ А. И., КОРОБКОВ С. В., ГАУСС К. С. <i>Фазовый анализ гидратированного портландцемента</i>	15
АЛЕКСЕЕВ А. А., БОЛЬШАКОВ А. М., СЫРОМЯТНИКОВА А. С. <i>Коррозионные повреждения газопровода в полярных условиях</i>	16
АЛЕКСЕЕВ Г. В., ТЕРЕШКО Д. А. <i>Методы оптимизации в задачах дизайна теплосберегающих функциональных устройств</i>	18
АЛЕКСЮТИНА Д. М., ШАБАНОВА Н. Н., КОКИН О. В. и др. <i>Проблемы мониторинга и моделирования динамики термоабразионных берегов .</i>	19
АНДРЮШИН А. В., ЗУЕВ П. С., ХЛЫСТОВА К. Б., ФЕДОСЕЕВ С. С. <i>Эксплуатационная прочность судов ледового плавания и ледоколов</i>	20
АРБУЗОВ В. А., БЕРДНИКОВ В. С., ГРИШКОВ В. А. и др. <i>Формирование льда на охлаждаемой верхней горизонтальной границе подогреваемого снизу слоя жидкости</i>	21
БАБЕНКОВ М. Б. <i>Температура пласти и рабочей жидкости при гидравлическом разрыве</i>	22
БАЙКИН А. Н., ГОЛОВИН С. В. <i>Сценарии распространения плоской трещины гидоразрыва пласти в слоистой пороупругой среде</i>	23
БАРДАЧЕВСКИЙ В. Н., ЕРШОВ С. В., ШЕСТАКОВА Н. И. <i>Сейсмогеологический анализ ачимовской толщи гыданского полуострова и перспективы её нефтегазоносности</i>	25
БАУТИН С. П., КОВАЛЕНКО А. И. <i>Получение точных решений нелинейного уравнения фильтрации методом разделения переменных</i>	26
БЕЛОВА С. В., ДУДАРЕВА О. В., ЧИГЛИНЦЕВА А. С., ХАСАНОВ М. К. <i>Математическая модель замещения метана, содержащегося в гидрате, двуокисью углерода</i>	27
БЕЛОЛИПЕЦКИЙ В. М., ГЕНОВА С. Н. <i>Одномерная вертикальная модель динамики вечной мерзлоты</i>	28
БЕРДНИКОВ В. С., ГРИШКОВ В. А., КИСЛИЦЫН С. А., МИТИН К. А. <i>Комплексное моделирование процессов кристаллизации жидкостей на вертикальных стенках</i>	29
БЕРДНИКОВ В. С., МИТИН К. А., ГУСЕЛЬНИКОВА О. О., ГРИШКОВ В. А. <i>Плавление слоя льда при натекании снизу струи нагретой жидкости</i>	30
БОКАТОВА Е. А., ДОБРОДЕЕВ А. А., КУБЫШКИН Н. В. и др. <i>Исследование прочностных свойств морского льда в обеспечение создания программных комплексов для расчета ледовой нагрузки</i>	31
БОЛЬШАКОВ А. М., ИВАНОВ А. Р. <i>Исследование работоспособности магистрального газопровода “Павловск-Майя”</i>	32

Большев А. С., Фролов С. А. <i>Математическое моделирование взаимодействия ровного льда с сооружениями континентального шельфа</i>	33
Бондарев Э. А., Рожин И. И., Аргунова К. К. <i>Выбор математической модели добычи природного газа: вычислительный эксперимент</i>	34
Бондаренко Ю. В., Азовцев А. И., Бугаев В. Г. <i>Обоснование формы корпуса и характеристик винто-рулевого комплекса грузопассажирского парома класса Arc5</i>	35
Бородин С. Л., Бельских Д. С. <i>Математическое моделирование процесса фильтрации метана и углекислого газа с учетом образования или разложения гидратов этих газов</i>	36
Бочкирева С. А., Гришаева Н. Ю., Люкшин П. А. и др. <i>Влияние температуры на износ полимерных композиционных покрытий при трибоконтакте</i>	37
Буденный С. А., Никитин Р. Н., Ерофеев А. А. и др. <i>Моделирование роста множественных трещин при многостадийном гидоразрыве пласта в рамках модели Pseudo 3D</i>	38
Бузник В. М., Голушки С. К., Нужный Г. А., Очиров А. А. <i>Математическое моделирование и расчет композитных конструкций с ледяной матрицей, армированных геосетками</i>	40
Буслаева И. И., Яковлева С. П. <i>Оценка значимости влияния эксплуатационных изменений материала на ударную вязкость различных зон листовой рессоры при снижении температуры испытаний</i>	41
Буслаева И. И., Яковлева С. П., Махарова С. Н., Левин А. И. <i>Влияние уровня мезоповрежденности на хладостойкость и микромеханизмы разрушения рессорной стали</i>	42
Ваганова Н. А., Филимонов М. Ю. <i>Моделирование влияния различных технических систем на изменение границ вечной мерзлоты</i>	43
Варыгина М. П. <i>Численное моделирование процессов распространения акустических волн под действием электромагнитного импульсного источника</i>	44
Воеводин А. Ф., Никифоровская В. С., Лаптева Н. А. <i>Численное моделирование гидролого-экологического режима</i>	45
Галкин А. Ф., Романов И. С. <i>Повышение энергетической эффективности горных выработок в рудниках криолитозоны</i>	46
Гарифин П. А., Ольховик Е. О. <i>Разработка требований к информационной ВИМ модели эксплуатации арктических портовых сооружений</i>	47
Глязнецова Ю. С., Зуева И. Н., Чалая О. Н., Лифшиц С. Х. <i>Особенности состава битумоидов донных осадков прибрежной зоны Восточно-Сибирского моря</i>	48
Гныря А. И., Абзаев Ю. А., Коробков С. В., Гаусс К. С. <i>Механические свойства твердеющего портландцемента в зависимости от температуры</i>	48

Гныря А. И., Коробков С. В., Кошин А. А., Терехов В. И. <i>Моделирование ветровых нагрузок при обтекании воздушным потоком системы моделей зданий при вариации их расположения</i>	50
Голубев В. Н., Фролов Д. М. <i>Методика оценки глубины промерзания грунта на основе данных о температуре зимнего сезона и режиме снегонакопления</i>	51
Голых Р. Н. <i>Модель ультразвуковой кавитационной деполимеризации нефти для выявления режимов и условий воздействия, обеспечивающих снижение вязкости в условиях низких температур</i>	53
Горшков А. В., Просвиряков Е. Ю. <i>Крупномасштабные сдвиговые противотечения вращающейся вязкой несжимаемой жидкости, характеризующиеся двумя параметрами Кориолиса</i>	54
Грибанов И. И., Тэйлор Р. С., Саррасино Р. <i>Применение модели связанных зон (CZM) для процесса разрушения поликристаллического льда под напряжением</i>	55
Губайдуллин А. А., Болдырева О. Ю., Дудко Д. Н. <i>Волны сжатия в пористой среде, содержащей газовый гидрат</i>	56
Дешин А. А., Сафонов П. И., Бурштейн Л. М. <i>Реконструкция процессов нефтедогенеза и образования скоплений углеводородов на территории Гыданского полуострова и смежных акваторий с использованием методики бассейнового моделирования</i>	57
Добродеев А. А., Клементьева Н. Ю., Сазонов К. Е. <i>Механика движений крупнотоннажного судна по узкому каналу</i>	58
Долженко К. В., Сафонов П. И., Фомин А. Н., Меленевский В. Н. <i>Моделирование генерации углеводородов в баженовской свите скв. Тюменская СГ-6</i>	58
Дугаров Г. А., Дучков А. А., Фокин М. И. <i>Лабораторные исследования акустических свойств песчаных образцов, содержащих лед и гидрат метана</i>	60
Дьяконов А. А., Шадринов Н. В., Соколова М. Д., Охлопкова А. А. <i>Двухслойный композиционный материал на основе эластомера и сверхвысокомолекулярного полиэтилена</i>	61
Егоров А. В., Нигматулин Р. И., Рожков А. Н. <i>Температурные эффекты в глубоководной газогидратной пне</i>	62
Елистратов В. В., Большев А. С., Панфилов А. А., Фролов С. А. <i>Разработка концептуальных вариантов ледостойких плавучих ветроэлектростанций</i>	63
Епифанов В. П. <i>Изучение реологических и прочностных свойств льда в условиях интенсивной пластической деформации</i>	63
Есенина Н. А., Чижевский А. А., Карасёв Ю. С., Савин Д. А. <i>Определение ледовых нагрузок на сваи в ледовом бассейне</i>	64
Земляк В. Л., Козин В. М., Баурик Н. О. <i>Влияние формы погруженного тела при подледном движении на параметры генерируемых им волн</i> .	65

ЗЕМЛЯК В. Л., КОЗИН В. М., ВАСИЛЬЕВ А. С., ИПАТОВ К. И. Экспериментальное и численное исследование напряженно-деформированного состояния ледяных балок, усиленных поверхностным армированием	66
ИВАНОВА И. К., СЕМЕНОВ М. Е., КОРЯКИНА В. В. Особенности гидратообразования в системах “природный газ/асфальтосмолопарафиновые отложения/вода”	67
ИЛЬИЧЕВ А. Т. Уединенные волновые пакеты на поверхности раздела вода-лед	68
КАЛАЧЕВА Л. П., РОЖИН И. И., ПОРТНЯГИН А. С. Изучение образования гидратов в минерализованных растворах и кинетических закономерностей их разложеия	70
КАНАКОВА К. И., СУРИКОВА Е. С., ГУСЕВА С. М. Сейсмогеологическая характеристика девон-кайнозойских отложений северной Аляски	71
КАНЕВСКИЙ Г. И., КЛУБНИЧКИН А. М., РЫЖКОВ А. В., САЗОНОВ К. Е. Метод расчета характеристик ходкости ледокола во льдах	72
КАНИН Е. А., ВАЙНШТЕЙН А. Л., ОСИПЦОВ А. А., БУРНАЕВ Е. В. Метод расчета перепада давления при многофазном течении в трубопроводах и в скважинах на основе алгоритмов машинного обучения	73
КАШКИН В. Б., ЗУЕВ Д. Б., КУРАКО М. А. и др. Спутниковый мониторинг загрязнения диоксидом серы атмосферы в полярных широтах	74
КОВАЛЕВ С. М., БОРОДКИН В. А., КОЛАБУТИН Н. В., СМИРНОВ В. Н. Исследование физико-механических свойств льда на научно-исследовательском стационаре “Ледовая база “Мыс Баранова”	75
КОЗЛОВ Д. В., КУЛЕШОВ С. Л. Многомерный анализ факторов образования заторов льда в речных бассейнах побережья морей Северного Ледовитого океана	76
КОЛПАКОВ В. И., КУДЮКОВ Н. А., ЛАДОВ С. В. и др. Использование кумулятивных зарядов для разрушения ледяного покрова	77
КОНТОРОВИЧ В. А., ГУБИН И. А., КАЛИНИН А. Ю. и др. Геологическое строение северной окраины Сибирской платформы и акваторий моря Лаптевых	78
КОНТОРОВИЧ В. А., КАЛИНИН А. Ю., КАЛИНИНА Л. М. и др. Сейсмогеологические модели осадочных комплексов Карского моря	79
КОНТОРОВИЧ В. А., ЛУНЁВ Б. В., ЛАПКОВСКИЙ В. В., АБРАМОВ Т. В. Численное моделирование формирования соляных куполов в Хатангском бассейне	81
КОНТОРОВИЧ В. А., СУРИКОВА Е. С., КАЛИНИН А. Ю. и др. Сейсмогеологические критерии прогноза газовых залежей севера Западной Сибири	82
КОРНЕВ В. М. Сдвоенный критерий усталостного разрушения стальных конструкций при существенных перепадах температур	84
КОРЯКИНА В. В., ИВАНОВА И. К., СЕМЕНОВ М. Е. Эмульсии нефти как среда гидратообразования	85
КОСТИКОВ В. К., КОРОБКИН А. А. Волны в плавающей пороупругой пластине	86

Костиков В. К., МАКАРЕНКО Н. И., КОРОБКИН А. А. <i>Нестационарное движение кругового цилиндра под ледовым покровом</i>	86
КСЕНОФОНТОВ П. В., ПОПОВ С. Н., ФЕДОРОВ Ю. Ю. и др. <i>Защитный футляр для подземного газопровода</i>	87
КУЗНЕЦОВ И. В., САЖЕНКОВ С. А. <i>Импульсные ультра-парabolические уравнения. Ударно-волновые процессы во льду</i>	88
КУРГУЗОВ В. Д. <i>Моделирование разрушения упругопластических тел с трещинами в условиях антиплюской деформации</i>	89
ЛЕВИН Б. В., САСОРОВА Е. В. <i>Кинематика Земли, полярное сжатие и Кеплеровы пульсации фигуры планеты</i>	90
ЛЕВИН Б. А., АЛЕКСАНИН А. И., АЛЕКСАНИНА М. Г. <i>Расчет динамических характеристик ледяного покрова моря по данным метеорологических спутников</i>	92
ЛУКИН Е. С., ИВАНОВ А. М. <i>Хладостойкость конструкционных сталей с ультрамелкозернистой структурой</i>	93
ЛЬГОТИНА Е. В., БАЙКИН А. Н. <i>Анализ мини-ГРП с помощью моделирования гидоразрыва пласта в пороупругой среде</i>	94
МАКАРЕНКО Н. И., МАЛЬЦЕВА Ж. Л., МОРОЗОВ Е. Г. и др. <i>Нелинейные волны в маргинально устойчивых течениях антарктической донной воды</i>	95
МАКСИМОВА А. Г., ЛАЗАРЕВА Г. Г., ПОПОВ В. А. <i>Численное моделирование движения расплава вольфрама при облучении электронным пучком</i> .	96
МАРКОВ С. И. <i>Применение разрывного метода Галёркина для моделирования процесса таяния ледяного покрова при взаимодействии с окружающей средой</i>	97
МАРЫШЕВ Б. С., ГОЛДОБИН Д. С. <i>Исследование аккумуляции растворенных в воде газов в неизотермическом массиве пористой среды с учетом ее промерзания</i>	98
МОГИЛАТОВ В. С., КУЛАКОВ И. Ю., ПЛОТКИН В. В. <i>Система геофизических наблюдений с дрейфующего льда</i>	99
МОЛОКИТИНА Н. С., ПОДЕНКО Л. С., ДРАЧУК А. О и др. <i>Анализ незамерзшей воды в суспензиях бактерий из многолетнемерзлых пород при температурах их залегания методом ядерного магнитного резонанса</i>	100
МУСАКАЕВ Н. Г., ХАСАНОВ М. К., БОРОДИН С. Л. <i>Численное исследование разработки газогидратной залежи в условиях отрицательных температур</i>	101
НЕСТЕРОВ А. А., КОНДРАШОВ Ю. Г., МАРЧЕНКО А. В. и др. <i>Деформации мерзлых грунтов, влияющие на транспортное сообщение Арктических регионов РФ</i>	102
НОВИКОВ Д. А. <i>Генетическая классификация подземных вод и рассолов арктических районов Сибири</i>	102

НОВИКОВ Д. А. <i>Теоретическое обоснование технологии поисков залежей углеводородов в Западной Сибири на основе изучения водно-газовых равновесий</i>	104
НОВИКОВ Д. А., ДУЛЬЦЕВ Ф. Ф., ЧЕРНЫХ А. В. <i>Аномально-высокие пластовые давления в юрско-меловых резервуарах арктических районов Западной Сибири</i>	105
НОВИКОВ Д. А., САДЫКОВА Я. В., ЧЕРНЫХ А. В., ДУЛЬЦЕВ Ф. Ф. <i>Палеогидрогеохимия отложений юры и мела арктических районов Западной Сибири</i>	106
НОВИКОВ Д. А., ЧЕРНЫХ А. В., ДУЛЬЦЕВ Ф. Ф. <i>Особенности геохимии рассолов вендских отложений Сибирской платформы</i>	107
НУЖНЫЙ Г. А., БУЗНИК В. М., ГОНЧАРОВА Г. Ю., РАЗОМАСОВ Н. Д. <i>Исследование прочности композиционных материалов на основе льда при сжатии</i>	108
НУРУЛЛАЕВ Э. М., ЛЮБИМОВА Н. Ю. <i>Экспериментально-теоретические основы создания морозостойких полимерных композитных материалов .</i>	109
ОЛЬХОВИК Е. О. <i>Исследование скорости крупнотоннажных судов в акватории Северного морского пути в период зимней навигации</i>	110
ОСИПЕНКО Н. М. <i>Структура разрушения ледяного покрова, зубчатое наложение</i>	111
ОСИПЦОВ А. А., БОРОНИН С. А., ТОЛМАЧЕВА К. И. и др. <i>Развитие модели транспорта проппанта в трещине ГРП: утечки, бриджинг, переход к плотной упаковке, сопряжение с моделью роста трещины . .</i>	112
ПАДЕРИН Г. В. <i>Модель Proxy Pseudo3D: построение прокси модели развития трещины гидроразрыва (ГРП) в рамках псевдотрехмерной постановки</i>	113
ПАНИН В. Е., ЕГОРУШКИН В. Е., СУРИКОВА Н. С. и др. <i>Нелинейная ме- зомеханика арктических материалов</i>	114
ПАПИН А. А., ТОКАРЕВА М. А. <i>Задачи тепломассопереноса в снежно-ледо- вом покрове</i>	115
ПЕРЕТОКИН С. А., БОДЯКИН Е. В., КУРАКО М. А., СИМОНОВ К. В. <i>Мо- делирование вероятностных оценок сейсмической опасности в аркти- ческой зоне на основе методологии ОСР-97</i>	115
ПЕТРОВ П. П., ГУЛЯЕВ В. П., СИБИРЯКОВ М. М. и др. <i>Диагностирование критических состояний конструкций, эксплуатируемых в условиях низких температур</i>	116
ПЕТРОВ С. А., МАМАЕВА Н. Л. <i>К вопросу об изменении климата в Арк- тической зоне РФ</i>	117
ПЕЦ Н. Г. <i>Наружные ледовые усиления судов ледового плавания</i>	118
ПОДЕНКО Л. С., ДРАЧУК А. О., МОЛОКИТИНА Н. С., НЕСТЕРОВ А. Н. <i>По- лучение гидратов метана в замороженных криогелях поливинилового спирта.</i>	119
ПОПОВ С. Н., БУРЕНИНА О. Н., АНДРЕЕВА А. В. и др. <i>Ледяные блоки на снеговодянной основе</i>	120

Пяткина Е. В. <i>Взаимодействие ледяного покрова с упругим телом с учетом условия непроникания</i>	121
Рогожникова Е. Г., Козин В. М. <i>Зависимость эффективности разрушения ледяного покрова резонансным методом при парном движении судов на воздушной подушке от глубины водоема</i>	122
Саватюгин Л. М., Епифанов В. П. <i>Моделирование режимов обтекания льдом препятствий на ложе ледников</i>	123
Садовский В. М., Садовская О. В., Детков В. А. <i>Анализ упругих волн, генерируемых в мерзлых грунтах импульсным электромагнитным источником "Енисей"</i>	124
Садыкова Я. В. <i>Методика восстановления состава сингенетичных вод мезозойских осадочных бассейнов</i>	125
Сазонов К. Е. <i>Оценка влияния снежного покрова на ледовое сопротивление судов</i>	126
Сафронов П. И., Дешин А. А., Бурштейн Л. М. <i>Историко-геологическое моделирование процессов нефтегенеза в мезозойско-кайнозойском осадочном бассейне северо-востока Большечехетской мегасинеклизы (бассейновое моделирование)</i>	127
Семенов М. Е., Иванова И. К., Корякина В. В. <i>Особенности получения гидратов природного газа из льда в реакторах высокого давления</i>	128
Сесь К. В. <i>Особенности геохимии подземных вод нефтегазоносных отложений полуострова Ямал</i>	129
Сизиков А. А., Полюхов Д. М., Стопорев А. С. и др. <i>Особенности проявления эффекта самоконсервации гидрата метана в нефтях</i>	130
Скопинцев А. М., Байкин А. Н., Ковтуненко П. В. и др. <i>Сопряжение модели роста трещины ГРП EP3D с моделью транспорта пропанта</i>	131
Сосновский А. В., Глазовский А. Ф. <i>Замерзание капель минерализованной воды при зимнем дождевании</i>	132
Старовойтова Б. Н., Головин С. В., Падерин Г. В. и др. <i>Задача оптимизации гидроразрыва пласта</i>	133
Стогний П. В., Фаворская А. В. <i>Численное полноволновое моделирование распространения упругих волн в сложной гетерогенной структуре объекта и во вмещающем геологическом массиве</i>	134
Стопорев А. С., Алтунина Л. К., Манаков А. Ю. <i>Изучение формирования гидратной пробки в эмульсии воды в нефти на примере гидрата диоксида углерода</i>	135
Стопорев А. С., Семенов А. П., Манаков А. Ю., Винокуров В. А. <i>Влияние нефтешламов, продуктов нефтепереработки и других вспомогательных веществ на разложение гидрата метана</i>	136
Стурова И. В., Ткачева Л. А. <i>Движение области давления по свободной поверхности жидкости вблизи края ледяного покрова</i>	137
Сукнев С. В. <i>Вязко-хрупкий переход в геоматериалах, обусловленный концентрацией растягивающих напряжений</i>	138

СУРИКОВА Е. С., СОЛОМИН А. Е., ГУСЕВА С. М. <i>Региональная модель геологического строения Ямальской и Гыданской НГО</i>	139
СУХОРУКОВА А. Ф., НОВИКОВ Д. А. <i>Криопэги арктических районов Сибири</i>	140
ТЕСЛЕНКО В. С. <i>О преимуществах газо-взрывных методов вскрытия ледяного покрова на реках</i>	141
ТЕСЛЕНКО В. С., ДРОЖЖИН А. П., МЕДВЕДЕВ Р. Н. <i>Газо-импульсный водный движитель для засоренных акваторий и Арктики</i>	142
ТЮЛЬКАНОВ А. К., ПЕТРАШЕВ С. В. <i>Особенности очистки водоемов от нефтепродуктов в условиях сложной ледовой обстановки</i>	143
ФАНКИНА И. В. <i>Задача о равновесии двухслойной конструкции с дефектом</i> .	144
ФЕДОРОВ В. М., ГОЛУБЕВ В. Н., ФРОЛОВ Д. М., ГРЕБЕННИКОВ П. Б. <i>Прогноз изменения площади морских льдов в Арктике на основе данных инсолиации</i>	144
ФЕДОСЕЕВ С. С., АНДРЮШИН А. В., ЗУЕВ П. С., ХЛЫСТОВА К. Б. <i>Определение ледовых нагрузок на корпус ВРК ледокольных судов для обеспечения их прочности при проектировании и в эксплуатации</i>	146
ФИЛИМОНОВА И. В., КОМАРОВА А. В., ЭДЕР Л. В., ПРОВОРНАЯ И. В. <i>Развитие инструментов государственного регулирования технологического развития арктических ресурсных регионов</i>	147
ФУРЦЕВ А. И. <i>Задача о контакте пластин и балки при наличии сил сцепления</i>	148
ХЛЫСТОВА К. Б., АНДРЮШИН А. В., ЗУЕВ П. С., ФЕДОСЕЕВ С. С. <i>Современные подходы к проектированию ледокольных гребных винтов, назначение ледовых нагрузок и обеспечение прочности гребных винтов</i> .	149
ЦУПРИК В. Г., ЗАНЕГИН В. Г., КИМ Л. В. <i>Моделирование хрупкого разрушения льда с применением энергетического критерия</i>	150
ЦЫПКИН Г. Г. <i>Влияние капиллярных сил на фазовые переходы в мерзлых грунтах</i>	151
ЧИГЛИНЦЕВА А. С. <i>К теории синтеза газогидратов в снежном массиве, насыщенном газом, при нагнетании этого же газа</i>	152
ЧИЖЕВСКИЙ А. А., ЕСЕНИНА Н. А., ЗАЙЦЕВ А. А. и др. <i>Эксперименты по определению ледовых нагрузок на берегоукрепительные сооружения в ледовом бассейне</i>	153
ЧИРКУНОВ Ю. А. <i>Нелинейные диффузионные процессы в неоднородной среде с нестационарным поглощением или источником</i>	153
ЧИРКУНОВ Ю. А., БЕЛЬМЕЦЕВ Н. Ф. <i>Исследование динамической и статической трехмерной модели трансверсально-изотропной упругой среды</i>	154
ШАЛЫЙ Е. Е., КИМ Л. В. <i>Анализ деградации бетона морских сооружений</i>	155
ШАРИФУЛИН В. А., ЛЮБИМОВА Т. П., ШАРИФУЛИН А. Н. <i>Контролируемые структуры тепловой вибрационной конвекции талой воды в цилиндрической полости</i>	156

ШАРИФУЛИН В. А., ЛЮБИМОВА Т. П., ШАРИФУЛИН А. Н. <i>Структура надkritической тепловой конвекции в горизонтальном слое малой воды при заданном тепловом потоке</i>	157
ШИШМАРЕВ К. А., ХАБАХПАШЕВА Т. И., КОРОБКИН А. А. <i>Движение осциллирующей внешней нагрузки по ледовому покрову канала</i>	158
ЭДЕР Л. В., КОМАРОВА А. В., ФИЛИМОНОВА И. В., ПРОВОРНАЯ И. В <i>Реализация проектов разведки и добывчи углеводородного сырья как фактор социально-экономического развития ресурсных регионов Арктики</i>	159
ЯРОСЛАВЦЕВА Е. С., БУРШТЕЙН Л. М. <i>История генерации углеводородов в куонамском комплексе Северо-Тунгусской НГО</i>	160
Авторский указатель	161

3D МОДЕЛИРОВАНИЕ УПРУГИХ МОДУЛЕЙ ГИДРАТИРОВАННОГО ПОРТЛАНДЦЕМЕНТА

Ю. А. Абзаев, А. И. Гныря, С. В. Коробков, К. С. Гаусс

Архитектурно-строительный университет, Томск

В работе исследовано изменение упругих характеристик, пористой структуры 3D модели портландцемента в процессе гидратации в течение 29 суток в программном комплексе VCCTL [1]. Описание механизмов гидратации клинкерных фаз, формирование продуктов гидратации с учетом пространственной статистики зародышей и пористых структур приведено в работе [2]. В модельном портландцементе использовалось следующее массовое содержание клинкерных минералов: 61.06 (алит), 13.62 (белит), 12.79 (феррит) и 6.50 (алюминат) граммов. Водоцементное соотношение было выбрано равным 0.41, энергия активации гидратации — 40 кДж/моль, пущолоновой реакции — 83 кДж/моль. Моделирование производилось как при комнатной температуре (таблица), так и при 0°C. Результаты расчетов объемного модуля упругости (K), сдвига (G), Юнга (E), Пуассона (P), эффективной объемной доли пор в цементе (V), клинкерных фаз: (C3S), (C2S), (C3A), (C4AF), а также продуктов гидратации портландита (CH), цементного камня (CSH), этtringита (ettr) приведены в таблице. Установлено, что в процессе гидратации упругие параметры возрастают. Наблюдается тенденция к уменьшению коэффициента Пуассона. Объемная доля клинкерных фаз значительно уменьшается, а основных продуктов гидратации существенно возрастает. Практически в 3 раза сокращается доля пор. При понижении температуры до 0°C интенсивность процессов гидратации снижается. Особенно это заметно на начальных стадиях.

Time	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
K (ГПа)	12.932	14.444	15.038	15.356	15.555	15.686	15.793	15.880	15.952	15.954
G (ГПа)	6.708	7.610	7.966	8.142	8.259	8.339	8.401	8.450	8.494	8.503
E (ГПа)	17.158	19.419	20.311	20.758	21.052	21.251	21.408	21.532	21.646	21.662
P	0.278	0.275	0.274	0.274	0.274	0.274	0.274	0.274	0.273	0.273
V, пор	0.321	0.269	0.246	0.231	0.221	0.214	0.208	0.203	0.199	0.193
V, C3S	0.115	0.079	0.063	0.054	0.048	0.044	0.040	0.037	0.035	0.035
V, C2S	0.057	0.053	0.0505	0.048	0.046	0.044	0.043	0.042	0.041	0.041
V, C3A	0.015	0.012	0.009	0.007	0.006	0.005	0.004	0.004	0.003	0.007
V, C4AF	0.022	0.020	0.020	0.019	0.019	0.018	0.018	0.018	0.017	0.017
V, CH	0.101	0.124	0.134	0.141	0.145	0.148	0.151	0.153	0.154	0.155
V, CSH	0.260	0.324	0.353	0.372	0.384	0.391	0.402	0.408	0.414	0.416
V, ettr	0.049	0.047	0.044	0.030	0.042	0.041	0.040	0.039	0.038	0.038

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта №18-08-01025).

ЛИТЕРАТУРА

1. Электронный доступ к коду: <https://www.nist.gov/services-resources/software/vcctl-software..>
2. Bentz D. P. *Three-dimensional computer simulation of cement hydration and microstructure development*. J. Am. Ceram. Soc. 1997. Т. 80.1. С. 3–21.

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ГИДРАТАЦИИ ПОРТЛАНЦЕМЕНТА

Ю. А. Абзаев, А. И. Гныря, С. В. Коробков, К. С. Гаусс

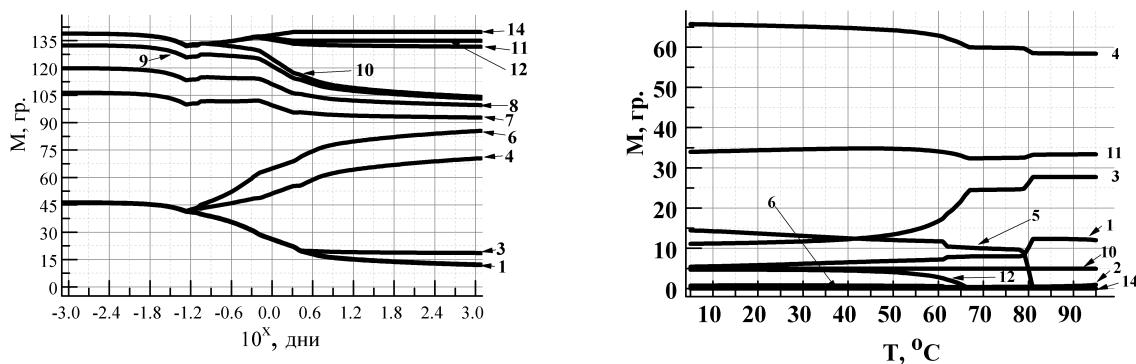
Архитектурно-строительный университет, Томск

В работе проведен термодинамический анализ гидратации портландцемента в комплексе GEMs за период (0 – 1000) дней при 300⁰К. Гидратация клинкерных фаз Alite, Belite, Ferrite, Aluminate была оценена в рамках модели Parrot, Kiloh [1]. Было рассмотрено также влияние температуры на массовое содержание продуктов гидратации, кислотно-щелочное соотношение (рН) в интервале температур 5 – 95⁰С. На рисунке приведены результаты кумулятивного роста массы продуктов гидратации портландцемента. Были обнаружены следующие фазы: 1 – (aqua); 2 – (gas); 3 – (C₃(AF)S_{0.84}H); 4 – (CSHQ); 5 – (ettringite-Al); 6 – (ettringite-Fe); 7 – (Alite); 8 – (Belite); 9 – (Ferrite); 10 – (Aluminate); 11 – (Portlandite); 12 – (Goethite); 13 – (arcanite); 14 – (OH-hydrotalcite).

При химическом взаимодействии минералов с водой формируются гидросиликаты кальция $(CaO)_x * (SiO)_y * (H_2O)_z * Ca(OH)_2$ переменного состава. В жидкой фазе присутствуют ионы алюминия, железа и др., которые стимулируют формирование гидроалюминатов, гидроферитов кальция. В объеме цементных зерен формируются продукты гидратации переменного состава, в частности Ca₅H₂OSi₂ (Tobermorite), Deliate, Ca₃HO₉Si₃, которые метастабильны на начальных стадиях, а затем превращаются в стабильные гидросиликаты тоберморитового типа. С ростом времени твердения доля фазы Ca₅H₂O₁₀Si₂ возрастает. А с ростом температуры твердения в цементном камне доля основных фаз Tobermorite, Deliate, Ca₅H₂OSi₂ мало изменяется в течении первых 54 часов. Гидросиликат Ca₃HO₉Si₃ относится к промежуточному состоянию, которое образуется по схеме гидратации тоберморита, 3CaO2SiO₂·2.5H₂O. Время и температура изотермического твердения оказывает существенное влияние на количественное содержание гидросиликатов.

Было установлено, что за период 0 – 1000 дней массовое содержание цементного камня на тоберморитовой основе увеличилось до 51.97 гр., этtringит – на 15.02. Содержание клинкерных минералов оказалось равно: алит (7.27 гр.), белит (6.82 гр.), феррит (3.59 гр.), алюминат (0.95 гр.), воды (11.49 гр.).

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта №18-08-01025).



ЛИТЕРАТУРА

- Lothenbach B. Winnerfeld F. *Thermodynamic modeling of the Portland cement*. Cement and Concrete Research. 2008. Т. 36. С. 209–226.

ФАЗОВЫЙ АНАЛИЗ ГИДРАТИРОВАННОГО ПОРТЛАНДЦЕМЕНТА

Ю. А. Абзаев, А. И. Гныря, С. В. Коробков, К. С. Гаусс

Архитектурно-строительный университет, Томск

В работе исследовано структурно-фазовое состояние портландцемента без минеральных добавок. Анализ состава показал следующее содержание клинкерных минералов в 100 граммах: 61.06 (алит), 13.62 (белит), 12.79 (феррит) и 6.50 (алюминат) граммов, водоцементное соотношение 0.41. Рентгеноструктурный анализ образцов производился на ДРОН4 – 07, на медном излучении, по схеме Брегга - Бретано с шагом 0.020, и временем экспозиции 1 сек, в угловом диапазоне $14^{\circ} - 71^{\circ}$, напряжение 30 кВ, ток пучка 25 мА. Содержание фаз (КФА) в портландцементе определялось методом Ритвельда. Моделирование гидратации производилось в комплексе GEMs.

В таблице приведены доли фаз, аморф использовался для оценки фона. Продукты гидратации Tobermorite и Ettringite, включают в свою решетку молекулы воды. Для всех решеток фаз (включая аморф) определена полная структурная информация, которая включает в себя параметры решеток, относительные координаты атомов, занятость узлов, пространственную группу. Для аморфа был сохранен ближний порядок, нарушен дальний и пространственная группа была выбрана равной Р1. Анализ вкладов показал, что в портландцементе доминируют продукты гидратации тоберморит, этtringит, аморф (на тоберморитовой основе), портландит. Присутствуют также клинкерные минералы алит, белит (табл.). Результаты КФА согласуются с моделированием в GEMs, соответствующие 5 месяцам твердения.

В работе анализировались энергия (E), стабильность (E_1), решеток основных фаз из первых принципов при 0К. Результаты расчетов приведены в таблице. Энергии решеток, включая аморфную фазу, оказываются отрицательными, т.е. решетки стабильны относительно расслоения на чистые элементы. Энергия связи $|E_1|$ для исследуемых решеток составляет несколько сотен электронвольт, что свидетельствует об стабилизации решеток в процессе гидратации.

Фаза	тоберморит	аморф	эттингит	алит	белит	портландит
Доля	47.72	-	37.40	0.30	7.96	5.12
E, эВ	-61216.54	-65463.99	-72504.21	-31868.08	-934.85	-1911.72
E ₁ , эВ	-2335.69	-2281.27	-934.85	-934.85	-391.20	-65.02

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта №18-08-01025).

ЛИТЕРАТУРА

1. Lothenbach B. Winnerfeld F. *Thermodynamic modeling of the Portland cement. Cement and Concrete Research.* 2008. Т. 36. С. 209–226.
2. Абзаев Ю. А., Сызранцев В. В., Бардаханов С. П. *Моделирование структурного состояния аморфных фаз наноразмерного SiO₂, синтезированного различными методами.* ФТТ. 2017. Т. 59. С. 1850–1854.

КОРРОЗИОННЫЕ ПОВРЕЖДЕНИЯ ГАЗОПРОВОДА В ПОЛЯРНЫХ УСЛОВИЯХ

А. А. Алексеев, А. М. Большаков, А. С. Сыромятникова

*ФГБУН Институт физико-технических проблем Севера им. В. П. Ларионова
СО РАН , Якутск*

Обеспечение безопасности нефтегазопродуктопроводов, оборудования нефтяной и газовой промышленности имеет огромное значение, особенно в условиях полярных регионов РФ, где ликвидация последствий аварии требует затраты значительных материальных и временных ресурсов, в условиях полной зависимости жизнедеятельности населенных пунктов Арктики от обеспечения энергоресурсами [1, 2, 3, 4].

В 2006 г. на участке магистрального газопровода Средневилюйское ГКМ–Мастахское ГКМ–Якутск–Покровск произошел выброс газа вследствие коррозионного повреждения трубы 273*8 мм, эксплуатировавшейся с 1968 года. При шурповом обследовании по результатам визуально-измерительного контроля, обнаружены коррозионные повреждения с наружной стороны газопровода на участке длиной 12 м в виде сквозных язв диаметром 10 и 12 мм, поверхностных язв диаметром 6 - 23 мм и глубиной 0,5 - 7 мм и питтингов, распределенных относительно равномерно по длине трубы. На остальных не пораженных коррозией участках газопровода недопустимого утонения стенок не обнаружено. Проведены микроструктурные исследования с использованием растрового электронного микроскопа XL-20, проведен расчет скорости коррозионного износа и расчет остаточного срока службы газопровода при наличии язвенной коррозии по РД 12-411-01 [5].

Установлено, что процессы коррозии характеризовались относительно равномерным проникновением коррозионного разрушения вглубь металла и происходили путем образования точечных очагов коррозии – питтингов. Очаговый (язвенный и питтинговый) характер коррозии характерен для почвенной (подземной) коррозии,

наличие сквозных язв свидетельствует о недостаточной аэрации почвы на участке прокладки трубы и протеканию локального коррозионного поражения. Расчеты показывает на возможность развития интенсивной коррозии со скоростью примерно 1 мм в 3 года для газопроводов, изготовленных из малоуглеродистых сталей, проложенных подземным способом в районах распространения вечной мерзлоты. Таким образом, показано что, в условиях полярных регионов России коррозионные повреждения подземного газопровода, также имеют место. Данные результаты показывают на необходимость учета данного типа повреждений, при проектировании и строительстве трубопроводов в регионах Арктики.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев А. А. *Экспериментальное исследование закономерностей разрушения при быстром распространении и ветвлении трещин.*: Автореф. дисс. канд. техн. наук. ИФТПС СО РАН. - Якутск, 2009.
2. Абросимов Н. В., Агеев А. И., Адушкин В. В., Акимов В. А., Алешин А. В., Алешин Н. П., Асмолов В. Г., Афиногенов Д. А., Ахметханов Р. С., Баландин Д. В., Пермяков В. Н., Баранов В. В., Бармин Н. В., Барышов С. Н., Белов П. Г., Белозеров А. С., Беляев И. И., Берман А. Ф., Болотник Н. Н., Большаков А. М. и др. *Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Научные основы техногенной безопасности.* Москва, 2015.
3. Абрахин С. И., Абросимов Н. В., Агеев А. И., Адушкин В. В., Акимов В. А., Алешин Н. П., Антоновская Г. Н., Артамонов В. С., Асмолов В. Г., Байда С. Е., Баранов В. В., Басанский Е. Г., Белов П. Г., Белолипецкий В. М., Беляев И. И., Берман А. Ф., Большаков А. М., Большов Л. А., Бурдаков Н. И., Бурова В. Н. и др. *Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Научные основы техногенной безопасности. Тематический блок "Национальная безопасность". Том Системные исследования чрезвычайных ситуаций.* Москва, 2015.
4. Гилязов А. А., Большаков А. М., Голиков Н. И., Алексеев А. А., Синцов С. А., Тихонов Р. П., Иванов А. Р., Татаринов Л. Н. *Исследование несущей способности стареющих магистральных газопроводов эксплуатирующихся в условиях Крайнего Севера.* Газовая промышленность. 2006. № 1 С. 38–39.
5. *Инструкция по диагностированию технического состояния подземных стальных газопроводов (РД 12-411-01).* Серия 12. Выпуск 3 / Колл. Авт. – М.: Государственное унитарное предприятие “Научно-технический центр по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России”. 2004. 104 с.

МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ В ЗАДАЧАХ ДИЗАЙНА ТЕПЛОСБЕРЕГАЮЩИХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

Г. В. Алексеев, Д. А. Терешко

Институт прикладной математики ДВО РАН, Владивосток

В последние годы интенсивно развивается новое направление в тепломассопереносе, связанное с разработкой технологий дизайна специальных функциональных устройств, служащих для управления потоками тепла. Одним из важнейших таких функциональных тепловых устройств является тепловая оболочка, представляющая собой область, имеющую вид сферического слоя (или кольца на плоскости \mathbb{R}^2), заполненную неоднородной и анизотропной в общем случае средой. В зависимости от поставленной цели указанная тепловая оболочка может служить для накопления тепла в ее внутренности, для тепловой маскировки любого объекта, помещенного внутрь ее, а также для реализации других целей [1].

При решении задач дизайна тепловых оболочек применяются как экспериментальные, так и теоретические методы. Большинство экспериментальных исследований направлено на изучение возможностей и способов управления тепловыми потоками с помощью специально разрабатываемых для этой цели новых материалов (см. [1]). Теоретические исследования направлены на разработку методов дизайна тепловых функциональных устройств, служащих для управления потоками тепла. Применение теоретических методов приводит к необходимости решения обратных задач для соответствующей модели теплопереноса. Указанные задачи заключаются в выборе параметров среды, заполняющей оболочку с заданной топологией исходя из некоторой дополнительной информации о создаваемом тепловом поле, вытекающей из цели проектируемого устройства.

В настоящей работе исследуются задачи управления для стационарной модели теплопереноса. Указанные задачи возникают при разработке технологий дизайна тепловых оболочек, предназначенных для накопления тепла внутри оболочки. С помощью оптимизационного метода рассматриваемые обратные задачи сводятся к задачам управления. Для их решения используется разработанный в [2, 3] численный алгоритм, основанный на методе роя частиц, обсуждаются результаты вычислительных экспериментов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 16-01-00365-а).

ЛИТЕРАТУРА

1. Narayana S., Sato Y. *Heat flux manipulation with engineered thermal materials*. Phys. Rev. Lett. 2012. V. 108. 214303.
2. Алексеев Г. В., Левин В. А., Терешко Д. А. *Оптимизационный анализ задачи тепловой маскировки цилиндрического тела*. Докл. АН. 2017. Т. 472. № 4. С. 398–402.
3. Алексеев Г. В., Левин В. А., Терешко Д. А. *Оптимизационный метод в задачах дизайна сферических слоистых тепловых оболочек*. Докл. АН. 2017. Т. 476. № 5. С. 512–517.

ПРОБЛЕМЫ МОНИТОРИНГА И МОДЕЛИРОВАНИЯ ДИНАМИКИ ТЕРМОАБРАЗИОННЫХ БЕРЕГОВ

*Д. М. Алексютина, Н. Н. Шабанов, О. В. Кокин, А. П. Вергун, А. В. Новикова,
С. А. Огородов*

МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва

Изучение побережий северных морей и океанов началось в XIV- XVI веках, в эпоху Великих географических открытий в Арктике. Позднее, в XX веке, наступил этап активного хозяйственного освоения Арктического побережья, связанный с разведкой полезных ископаемых, освоением Северного морского пути, которое сопровождалось изысканиями при строительстве портовых сооружений и другой инфраструктуры. Береговая зона арктических морей характеризуется высокой динамичностью ввиду наличия многолетнемерзлых дисперсных пород, состояние и устойчивость которых зависит от температурного режима. В настоящее время разрушение береговых уступов происходит со скоростью до нескольких метров в год (в отдельные годы - до первых десятков метров). Несмотря на то что изучением динамики берегов арктических морей занимаются как зарубежные, так и отечественные ученые еще с прошлого столетия, остается множество проблем мониторинга динамики берегов, усложняющих создание достоверных моделей этой динамики. Мониторинг динамики берегов проводится с помощью полевых и дистанционных методов. При полевых исследованиях существуют некоторые сложности, связанные с суровостью климатических условий региона и его труднодоступностью. Эпизодические краткосрочные периоды полевых работ препятствуют выявлению количественного вклада отдельных ведущих факторов, сменяющихся в течение одного сезона отступания берега (в начале лета преобладает термоденудация, вызванная термическим воздействием положительных температур воздуха при блокированном льдами море, а в осенний период - термоабразия, вызванная штормовой активностью на море). Кроме того, в тундровых ландшафтах при наличии торфяно-мохового покрова осложнена идентификация положения бровки берегового обрыва, и даже использование при полевых работах высокоточного оборудования (нивелиры, теодолиты, DGPS и другое) не способствует решению этой проблемы. Так, например, на высоких берегах при их отступании происходит постепенное свисание и оползание блоков почвенно-растительного покрова размером до нескольких метров в диаметре, что соизмеримо со среднегодовой скоростью смещения бровки берегового обрыва. В то же время на низких берегах сложности картирования бровки связаны с накоплением песка при ветровом воздействии и в период штормовых нагонов.

Работа с данными дистанционного зондирования (ДДЗ) также имеет свои нюансы и особенности. На территориях вне хозяйственного освоения существует проблема абсолютной географической привязки снимков, связанная с отсутствием объектов с пространственно стабильными во времени очертаниями, в результате приходится использовать условно стабильные объекты (например, контуры озер, уровень воды которых, а, соответственно, и плановые очертания изменяются от сезона к сезону). Кроме того, снимок отражает определенный момент времени с конкретными характеристиками, которые могут изменяться в течение одного сезона (например, ширина пляжа, изменяющаяся во время приливов/отливов и осенних штормовых нагонов).

Также ДДЗ не позволяет оценить изменения берегового профиля, а лишь плановых очертаний бровки обрыва. Помимо всего прочего, еще одной проблемой является человеческий фактор: даже имея опыт работы с ДДЗ и предварительные методические договоренности, исследователи дешифрируют снимки по-разному, а принятого алгоритма дешифрирования до сих пор не опубликовано.

Перечисленные особенности мониторинга динамики берегов усложняют возможности сравнения и анализа получаемых данных. В связи с этим, возникает множество проблем при моделировании процесса отступания берега, связанных с недостатком кондиционного фактического материала, вынуждающего проводить моделирование на эмпирических зависимостях. В отличие от арктического региона североамериканского побережья, где разрушение берегов происходит за счет термоабразии с вырабатыванием морем ниш в основании обрывов с последующим обрушением льдистых мерзлых пород, моделирование динамики берегов Западного сектора российской Арктики проводится в парадигме подавляющего влияния теплового и гидродинамического факторов, вклад каждого из которых изменяется от года к году. Неоднозначность ведущего фактора осложняет создание универсальной модели, учитывающей все параметры отступающего берега, поэтому на данном этапе возможно лишь описание качественных характеристик динамики берегов. Кроме того, берега Западного сектора российской Арктики сложены породами “пестрого” криолитологического состава, что дополнительно усложняет проведение моделирования.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №16-17-00034).

ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ ПРОЧНОСТЬ СУДОВ ЛЕДОВОГО ПЛАВАНИЯ И ЛЕДОКОЛОВ

А. В. Андрюшин, П. С. Зуев, К. Б. Хлыстова, С. С. Федосеев

АО “Центральный научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт морского флота”, Санкт-Петербург

Решение задачи освоения нефтегазоконденсатных месторождений на арктическом шельфе невозможно без современного ледокольного флота. С вводом в эксплуатацию современных крупнотоннажных судов двойного действия актуальной становится задача обеспечения операционной безопасности из условия совместного обеспечения прочности корпуса, пропульсивного комплекса и его работоспособности в ледовых условиях.

Для обеспечения ледовой прочности корпуса АО “ЦНИИМФ” разработана методология определения интегральных и локальных ледовых нагрузок на основе типичных сценариев взаимодействия корпуса с ледовыми образованиями на режимах переднего и заднего хода. Для наклонного борта глобальные нагрузки определяются из условия разрушения ледового покрова изгибом [1]. Расчетные параметры ледового нагружения (интегральное и локальное контактное давление, длина и высота зоны контакта) определяются в зависимости от геометрии корпуса в точке контакта с учетом температурного режима ледообразования, морфологических и физико-механических характеристик ледового покрова, а также скорости хода судна. Оценка

напряженно-деформированного состояния (НДС) корпуса выполняется аналитическими моделями и методом конечных элементов (МКЭ) в упругой и пластической стадии работы конструкции.

Для современных судов двойного действия, которые эксплуатируются в тяжелых ледовых условиях гребными винтами вперед, регламентирование допустимых режимов плавания должно выполняться из совместного обеспечения эксплуатационной прочности корпуса, пропульсивного комплекса (гребного винта), а также работоспособности главного электродвигателя (ГЭД) винто-рулевовой колонки (ВРК). Под работоспособностью ГЭД подразумевается его способность противостоять ледовому моменту на гребном винте. Мощность и момент ГЭД должны быть достаточными для поддержания вращения гребного винта и его тяги, предотвращения его остановки под действием ледового момента и поломки лопасти [2]. Для решения указанных задач АО “ЦНИИМФ” разработаны методики определения ледовых нагрузок на гребных винтах, корпусе ВРК в зависимости от характеристик операционных режимов (скорость судна, характеристики ледовых образований).

Анализ показывает, что для судов двойного действия при движении задним ходом учет работоспособности ГЭД ВРК является необходимым условием для регламентации безопасных режимов плавания. В настоящее время в АО “ЦНИИМФ” разработана технология обеспечения прочности ГВ с пониженным уровнем ледовых нагрузок, которая позволяет повысить работоспособность ГЭД в тяжелых ледовых условиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Andryushin A., Zuev P., Kuteinikov M., Grigorjeva O., Bolshev A., Frolov S. *Determination of ice loads acting on bow and stern of the modern ice ships and icebreakers ISOPE* (International Society of Offshore and Polar Engineers). 2016. V.I. pp. 1298–1306.
2. Andryushin A. V., Hanninen S., Heideman T. *Azipod “Azimuth Thruster for large capacity arctic transport ship with high ice category Arc7. Ensuring of operability and operating strength under severe ice conditions”* Proceedings of the 22nd International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions. 2013.

ФОРМИРОВАНИЕ ЛЬДА НА ОХЛАЖДАЕМОЙ ВЕРХНЕЙ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ГРАНИЦЕ ПОДОГРЕВАЕМОГО СНИЗУ СЛОЯ ЖИДКОСТИ

*B. A. Арбузов^{1,2}, В. С. Бердников^{1,2}, В. А. Гришков¹, Ю. Н. Дубнищев^{1,2},
В. А. Марков¹, О. С. Мелёхина^{1,2}*

¹Институт теплофизики им. С. С. Кутателадзе СО РАН, Новосибирск

²Новосибирский государственный технический университет

Процессы формирования льда в природных условиях изучаются с использованием все более совершенных методов измерений. Но анализ результатов исследований, полученных на природных объектах, приводит к выводу о необходимости лабораторных экспериментальных исследований полей температуры и скорости с высоким

пространственно-временным разрешением. Одна из проблем — процесс формирования устойчиво стратифицированного по плотности слоя воды под слоем льда и влияние конвективного течения в придонной части на этот слой и на процесс кристаллизации. Т.е. сопряженный конвективный теплообмен у границы раздела лед-вода осложнен наличием слоя с инверсией плотности воды в диапазоне температуры от 0 до +4°C. Исследован процесс образования льда под монотонно охлаждаемой горизонтальной высокотеплопроводной поверхностью. Проведена видеосъемка конвективного течения, изучена эволюция во времени структуры течения, измерены распределения температуры по высоте слоя в процессе возникновения и продвижения фронта кристаллизации. Горизонтальный слой воды снизу и сверху ограничен медными пластинами — рабочими частями теплообменников. Через верхний теплообменник прокачивался антифриз, температура в криостате поддерживается с точностью 0,1 °C, от +30°C до -30°C. Распределение температуры по высоте слоя воды изменилось зондом, состоящим из 18 медных проволочек — термометров сопротивления, изготовленных из медной проволоки диаметром 0,1 мм и длиной 40 см. Проволочки натянуты параллельно дну и верхней пластине на фиксированных расстояниях. Исследования проведены при двух высотах слоя воды H1 = 33,7 мм и H2 = 70 мм. Горизонтальные размеры слоя воды — 240 мм x 240 мм. При видеосъемке конвективного течения для визуализации потока жидкости использованы полистироловые шарики диаметром 50 мкм. Плоский световой нож создавался с помощью двух лазеров. При охлаждении верхней пластины до температуры — 3,75°C происходит почти мгновенное повышение температуры жидкости в пристеночной зоне до 0°C, сопровождающееся появлением мелких дендритов в области толщиной 4-5 мм. Через 3-4 минуты дендриты исчезают и появляется гладкий тонкий слой льда, равномерно покрывающий всю поверхность верхней пластины. При высоте слоя 70 мм фронт кристаллизации от момента формирования и до окончания экспериментов оставался идеально плоским. В аналогичных экспериментах на плоском рабочем участке использовалась комплексная оптическая диагностика, сочетающая гильберт-визуализацию и интерферометрию, что позволило получить качественную и количественную информацию о нестационарных полях температуры в процессе кристаллизации воды.

ТЕМПЕРАТУРА ПЛАСТА И РАБОЧЕЙ ЖИДКОСТИ ПРИ ГИДРАВЛИЧЕСКОМ РАЗРЫВЕ

М. Б. Бабенков

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

Разность температуры на поверхности и на глубине гидроразрыва составляет порядка 80° – 100°, что предъявляет повышенные требования к реологическим свойствам рабочей жидкости гидроразрыва. Под воздействием температуры меняется вязкость, которая оказывает влияние на конечную форму трещины и динамику ее распространения внутри пласта. Необходимо построить модель, позволяющую проводить расчет температуры жидкости и слоя породы в окрестности трещины, потребляя минимум вычислительных ресурсов и используя доступные данные о теплофизических свойствах породы и рабочей жидкости гидроразрыва.

Запишем уравнение баланса энергии для жидкости и для пласта. Температура жидкости в трещине $T_F(t)$ и температура слоя породы $T_R(t)$ считается однородной внутри всей рассматриваемой области. Жидкость обменивается тепловой энергией с пластом за счет утечек в пласт и теплоотдачи по закону Ньютона-Рихмана через растущую площадь поверхности трещины с переменным коэффициентом теплоотдачи c . Площадь трещины считается известной и в простейшем случае находится из РКН-модели. Предполагается, что пласт однородный. Толщина слоя пластика, с которым жидкость вступает в теплообмен, растет в зависимости от времени следующим образом [1]: $D(t) = \sqrt{\lambda_R t / (C_V^R \rho_R)}$, где λ_R – теплопроводность породы, t – время, отсчитываемое с начала закачки, C_V^R – удельная теплоемкость породы, ρ_R – плотность породы.

$$C_V^F \rho_F \frac{\partial T_F(t)}{\partial t} = c(T_R(t) - T_F(t)) - \frac{C_V^F \rho_F V'_{Pump}(t)}{V_{Pump}(t)} (T_F(t) - T_F^0)$$

$$C_V^R \rho_R \frac{\partial T_R(t)}{\partial t} = -c(T_R(t) - T_F(t)) - \frac{C_V^R \rho_R V'_{Rock}(t)}{V_{Rock}(t)} (T_R(t) - T_R^0) + \frac{C_V^F \rho_F V'_{Leak}(t)}{V_{Leak}(t)} (T_F(t) - T_R(t)),$$

где V_{Pump} , V_{Rock} и V_{Leak} – объемы закачанной жидкости, пластика породы и утечек; C_V^R , ρ_F – удельная теплоемкость и плотность жидкости. Данная модель допускает обобщение на Pseudo 3D (P3D) и Planar 3D (PL3D) постановки.

Стационарное решение задачи при начальных условиях: $T_R(0) = T_R^0$, $T_F(0) = T_F^0$ дается следующим выражением: $T_{eq} = (10C_V^F \rho_F T_F^0 + 13C_V^R \rho_R T_R^0) / (10C_V^F \rho_F + 13C_V^R \rho_R)$.

В случае, если рабочей жидкостью является вода, а породой, в которой распространяется трещина – песчаник, то $T_{eq} = (T_R^0 + T_F^0) / 2.2$, что хорошо согласуется с инженерными оценками.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках ФЦП “Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы”, Мероприятие 1.2., Соглашение о предоставлении субсидии № 14.575.21.0146 от 26.09.2017, уникальный идентификатор ПНИ: RFMEFI57517X0146.

ЛИТЕРАТУРА

- Слепян Л. И. *Нестационарные упругие волны*. Л.: Судостроение, 1972.

СЦЕНАРИИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПЛОСКОЙ ТРЕЩИНЫ ГИДРОРАЗРЫВА ПЛАСТА В СЛОИСТОЙ ПОРОУПРУГОЙ СРЕДЕ

A. N. Байкин, С. В. Головин

Институт гидродинамики им. М. А. Лаврентьева СО РАН, Новосибирск

Трещины гидроразрыва играют большую роль в технологиях интенсификации добычи углеводородов, а также имеют место в ряде природных процессов. Распространение трещины гидроразрыва пласта (ГРП) обусловлено закачкой в нее вязкой

жидкости, которая создает давление на стенках достаточное для преодоления горного давления и разрыва горной породы. Процесс развития трещины обусловлен несколькими факторами: течением вязкой жидкости по трещине, упругой реакцией стенок трещины, фильтрацией жидкости через стенки трещины в пласт и разрывом породы.

В работе представлена модель плоской трещины гидроразрыва пласта в трехмерной неоднородной по физическим свойствам пороупругой среде. Положительными особенностями данной модели является возможность одновременно определять изменение порового давления, деформацию породы и раскрытие трещины совместно с давлением в ней. Пороупругая среда, окружающая трещину, подчиняется уравнениям Био [1]. Благодаря этому взаимодействие пластовой жидкости и жидкости гидроразрыва описываются более точно в отличие от моделей трещин ГРП в упругой среде, где ограничиваются различными модификациями упрощенной формулы Картера. В частности, в рамках представленной модели обмен жидкостью между трещиной и пластом приводит к изменению напряженно-деформированного состояния и, в свою очередь, к изменению направления и скорости раскрытия трещины. Данный эффект особенно ярко выражен в неоднородных средах.

Численное решение задачи проводилось методом конечных элементов с помощью модификации алгоритма из [2] для трехмерного случая с использованием параллелизации на суперкомпьютере ССКЦ СО РАН. Корректность работы алгоритма была подтверждена сравнением с точными решениями и экспериментальными данными.

В докладе будут рассмотрены результаты моделирования трещины гидроразрыва пласта в коллекторе, состоящем из нескольких слоев с различными физическими свойствами и сжимающими напряжениями. Будет продемонстрировано влияние эффектов пороупругости на распространение трещины в неоднородной среде, а также описаны различные способы управления трещиной при помощи регулирования расписания закачки.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-31-00410/18. Авторы благодарят ООО “Газпромнефть НТИ” за обсуждение постановки задачи и результатов работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Coussy, O. *Poromechanics*. John Wiley & Sons, Chichester, 2004.
2. Baykin A.N., Golovin S.V. *Modelling of hydraulic fracture propagation in inhomogeneous poroelastic medium*. J. Phys.: Conf. Ser. 2016. V. 722. 012003.

СЕЙСМОГЕОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ АЧИМОВСКОЙ ТОЛЩИ ГЫДАНСКОГО ПОЛУОСТРОВА И ПЕРСПЕКТИВЫ ЕЁ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ

В. Н. Бардачевский, С. В. Ершов, Н. И. Шестакова

*Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН,
Новосибирск*

В последние годы центры поиска и добычи углеводородов в России все активнее смещаются в арктические регионы. Одной из таких перспективных территорий является Гыданский полуостров, в пределах которого выделяется одноименная нефтегазоносная область Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции. Перспективными являются юрско-меловые отложения. К настоящему времени здесь уже открыт ряд месторождений, среди которых такие крупные как, Антипютинское, Геофизическое, Гыданское, Салмановское. Тем не менее изученность бурением этого арктического региона остается крайне низкой. В первую очередь это касается глубокозалегающих нефтегазоносных комплексов - ачимовского и нижне-среднеюрского.

В тектоническом отношении Гыданский полуостров большей частью приурочен к отрицательной надпорядковой структуре – Антипютинско-Тадебеяхинской мегасинеклизе. Большинство крупных положительных структур депрессии, число которых невелико, описано. В этой связи особый интерес вызывает ачимовская толща, песчано-алевритовые тела которой представляют собой линзы относительно глубоководного генезиса. Подавляющее число ловушек углеводородов этой толщи литологического типа. Данное обстоятельство повышает перспективы нефтегазоносности исследуемой территории.

Ачимовская толща выделяется в нижней части разреза нижнемелового клиноформного комплекса Западной Сибири. Проведенный сейсмогеологический анализ позволил выделить в пределах Гыданского полуострова восемь региональных клиноформ валанжин-баррема. Время их формирования оценивается в 0,4–2,2 млн лет. Таким образом они являются сиквенциями 3 порядка. На основе данных бурения и сейсморазведки проведена корреляция продуктивных пластов с использованием стратотипических разрезов Ямала и Гыдана. В каждой из выделенных клиноформ закартированы депоцентры накопления осадочного материала, проведен палеогеоморфологический анализ рельефа дна Западно-Сибирского моря в меловом периоде.

Проградация клиноформного комплекса проходила в северо-западном направлении. В этом же направлении наблюдается омоложение линз ачимовской толщи. Зоны ее распространения представляют собой полосы, вытянутые в северо-восточном направлении. Как показала практика нефтегазопоисковых работ в Западной Сибири, в ачимовской толще коллектора с улучшенными фильтрационно-емкостными свойствами и повышенными толщинами в большинстве случаев приурочены к депоцентрам клиноформ. Это служит одним из критериев нефтегазоносности толщи и выделением перспективных зон нефтегазонакопления еще на стадии создания априорной модели ее строения.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта № 18-05-00210 А).

ПОЛУЧЕНИЕ ТОЧНЫХ РЕШЕНИЙ НЕЛИНЕЙНОГО УРАВНЕНИЯ ФИЛЬТРАЦИИ МЕТОДОМ РАЗДЕЛЕНИЯ ПЕРЕМЕННЫХ

С. П. Баутин, А. И. Коваленко

Снежинский физико-технический институт НИЯУ МИФИ, Снежинск

В работе рассматривается нелинейное дифференциальное уравнение параболического типа, вырождающееся при $u = 0$ [1]. А именно, нелинейное уравнение фильтрации газа в пористом грунте для давления $p = \alpha\rho^\sigma$, ρ – плотность газа, σ – показатель политропы газа. Такой же вид имеет и нелинейное уравнение теплопроводности при степенной зависимости коэффициента теплопроводности $K(T) = \alpha T^\sigma$ от температуры T . Замена $u = T^\sigma$ и изменение масштаба времени приводит к следующему уравнению [1]:

$$u_t = u\Delta u + \frac{1}{\sigma}(\nabla u)^2. \quad (1)$$

Для построения точных решений нелинейного уравнения (1) используют метод разделения переменных, обычно применяемый в случае линейных уравнений. Именно так получена основная часть решений с режимом обострения [2], включая следующее точное решение в плоско симметричном случае:

$$u(t, x) = \frac{\sigma}{2(\sigma + 2)} \frac{x^2}{(1 - t)}. \quad (2)$$

Решение (2) интересно тем, что в случае уравнения теплопроводности оно описывает тепловую волну со стоящим на месте ее фронтом, хотя при $t \rightarrow 1 - 0$ имеем: $u \rightarrow +\infty$. При этом тепловой поток на фронте волны равен нулю с обеих сторон. В случае уравнения фильтрации решение (2) описывает стоящий на месте фронт фильтрации, хотя давление в пласте по одну сторону от него растет неограниченно.

В данной работе методом разделения переменных построены другие точные решения уравнения (1). В частности, в стационарном случае имеется решение

$$u(x, y, z) = \left[\frac{(\sigma + 1)^3}{\sigma^3} x y z \right]^{\frac{\sigma}{(\sigma + 1)}}. \quad (3)$$

Для уравнения фильтрации данные решения непрерывно стыкуются с фоновым решением, имеющим нулевое давление в пласте. В случае нелинейного уравнения теплопроводности на фронте тепловой волны типа (3) тепловой поток не равен нулю со стороны решения. Поэтому данные решения в случае $u = T^\sigma$ нельзя физически осмысленно состыковать с холодным фоном.

Построенные решения можно также использовать как тесты при численном построении решений нелинейного уравнения (1).

ЛИТЕРАТУРА

1. Баутин С.П. *Аналитическая тепловая волна*. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003.

2. Самарский А. А., Галактионов В. А., Курдюмов С. П., Михайлов А. П. *Режимы с обострением в задачах для параболических уравнений*. М.: Наука, 1987.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЗАМЕЩЕНИЯ МЕТАНА, СОДЕРЖАЩЕГОСЯ В ГИДРАТЕ, ДВУОКИСЬЮ УГЛЕРОДА

C. V. Белова^{1,3}, O. V. Дударева¹, A. C. Чиглинцева², M. K. Хасанов³

¹Бирский филиал Башкирского государственного университета, Бирск

²Имех УФИЦ РАН, Уфа

³Стерлитамакский филиал Башкирского государственного университета, Стерлитамак

В настоящее время достаточно серьезной альтернативой традиционным источникам природного газа являются газогидраты. Известно, что большие объемы газа (преимущественно метана) сосредоточены в газогидратных залежах, которые находятся в зонах вечной мерзлоты и на дне Мирового океана. В связи с этим актуальным становится создание различных технологий и поиск методов по извлечению углеводородного газа из газогидратных отложений. Одним из таких принципиально возможных и перспективных методов является замещение метана в составе газогидрата жидким диоксидом углерода [1, 2]. Подобная технология позволила бы одновременно добывать метан и утилизировать двуокись углерода [1, 2].

В настоящей работе построена математическая модель процесса замещения метана в составе газогидрата жидким диоксидом углерода. Рассматривается горизонтальный массив, насыщенный гидратом и газом (метан). Нагнетание жидкой двуокиси углерода происходит при температуре и давлении, соответствующих условиям стабильности ее газогидрата. Полагается, что процесс замещения происходит на подвижной фронтальной поверхности, разделяющей массив на две области: ближнюю, насыщенной жидкой двуокисью углерода и ее гидратом, и дальнюю, где находятся газ (метан) и его гидрат [3]. Построены автомодельные решения, описывающие поля температур и давления в каждой из областей. Проведена оценка влияния исходных параметров закачиваемой двуокиси углерода на возможные режимы фильтрации. Выявлено, что при низких значениях температуры нагнетаемой двуокиси углерода, температура во второй области не превышает равновесную температуру разложения газогидрата метана. В случае же высокой температуры закачиваемой двуокиси углерода, температура в дальней области может подниматься выше равновесной температуры стабильности гидрата метана, что свидетельствует о перегреве гетерогенной смеси газа и его газогидрата в данной зоне.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №17-79-20001).

ЛИТЕРАТУРА

1. Falenty A., Qin J., Salamatin A. N., Yang L., Kuhs W. F. *Fluid Composition and kinetics of the in situ replacement in CH₄-CO₂ hydrate system*. J.Phys.Chem. 2016. V. 120. No. 48. P. 27159–27172.

2. Espinoza D. N., Santamarina J. C. *P-wave monitoring of hydrate-bearing sand during CH₄-CO₂ replacement*. Int.J. Greenhouse Gas Control. 2011. Vol. 5. No. 4. P. 1031–1038.
3. Шагапов В. Ш., Хасанов М. К. *Режимы восстановления метана из газогидрата при инжекции «теплого» диоксида углерода в пористую среду*. ТВТ. 2017. Т. 55. № 5. С. 753–761.

ОДНОМЕРНАЯ ВЕРТИКАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ДИНАМИКИ ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ

В. М. Белолипецкий, С. Н. Генова

Институт вычислительного моделирования СО РАН, Красноярск

В связи с изменением глобальной температуры воздуха представляет интерес оценка реакции вечной мерзлоты на изменение климата. При потеплении климата увеличивается как толщина слоя талого грунта, так и продолжительность периода существования талика. В настоящей работе рассматривается малоразмерная численная модель вертикальных распределений температуры в талых и мерзлых слоях, учитывающая образование новых и аннулирование существующих слоев, (предложенная в [1] для болотно-озерных ландшафтов). Так как вертикальные градиенты температуры, как правило, значительно превосходят горизонтальные, то при описании теплопереноса все физические процессы предполагаются одномерными в вертикальном направлении. В вертикальном направлении выделяются следующие слои: снег, талый грунт, мерзлый грунт. Теоретическое описание температурного поля в почвах при их промерзании или оттаивании осуществляется с помощью решений задач Стефана. Математическая модель основывается на уравнениях теплопроводности для мерзлой и талой зон. На границах фазового перехода (замерзания-таяния) ставятся условия равенства температур температуре фазового перехода и условие Стефана. Сформулированная математическая модель вертикальных распределений температуры в талых и мерзлых слоях учитывает образование новых и аннулирование существующих слоев.

Возможны различные варианты расположения мерзлых и талых слоев. При переходе с одного варианта на другой слои добавляются или исключаются. Рассматриваются пять вариантов. Определены условия переходов с одного варианта на другой. Разработаны алгоритм и компьютерная программа для исследования многовариантных схем вертикальных структур в зоне вечной мерзлоты. Упрощенный численный метод решения уравнений теплопроводности основан на неявной аппроксимации уравнения теплопроводности на грубой сетке. Построенная упрощенная численная модель позволяет оценить влияние изменения климата на глубину протаивания и мощность толщи многолетнемерзлых пород.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 17-45-240884).

ЛИТЕРАТУРА

1. Belolipetskii Victor M., Genova Svetlana N. *A numerical model of the seasonal thawing of permafrost in the bog-lake landscapes. Journal of Siberian Federal University. Mathematics & Physics.* 2016. V. 9(2). P. 158–165.

КОМПЛЕКСНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ЖИДКОСТЕЙ НА ВЕРТИКАЛЬНЫХ СТЕНКАХ

В. С. Бердников^{1,2}, В. А. Гришков¹, С. А. Кислицын^{1,2}, К. А. Митин^{1,2}

¹*Институт теплофизики им. С. С. Кутателадзе СО РАН, Новосибирск*

²*Новосибирский государственный технический университет*

Исследован процесс кристаллизации жидкостей с различными теплофизическими свойствами, среди которых важным параметром является зависимость плотности от температуры, включая эффект инверсии плотности. В качестве рабочих сред выбраны вода и гептадекан. Вода – классическая среда с инверсной зависимостью плотности от температуры. Численно исследована гидродинамика и теплообмен в процессах кристаллизации воды [1] и гептадекана на вертикальных стенках прямоугольных областей с различным соотношением сторон и экспериментально на рабочих участках аналогичных геометрий. Процесс кристаллизации начинается после внезапного охлаждения вертикальной стенки до температуры ниже температуры кристаллизации вещества. На противоположной вертикальной стенке поддерживается начальная температура системы. Решались система уравнений нестационарной свободной конвекции жидкости с учетом зависимости плотности от температуры и уравнение теплопроводности в массивной стенке и в затвердевшем веществе в декартовых координатах методом конечных элементов. Задачи решались в сопряженной постановке с учетом выделения теплоты кристаллизации на границе раздела жидкость - твердое тело. Изучено влияние термокапиллярного эффекта на свободной верхней границе жидкости. Треугольная сетка отслеживает положение фронта кристаллизации на каждом временном шаге и сгущается с обеих его сторон, а также в различной степени ко всем границам расчетной области. На границе раздела жидкость – твердое тело выполняется условие неразрывности температуры и теплового потока с учетом теплоты фазового перехода. Изучено влияние сопряженного конвективного теплообмена на эволюцию формы фронта кристаллизации и массы затвердевшего вещества в процессе формирования и продвижения фронта кристаллизации. Условия на верхней границе существенно влияют на интенсивность конвективного течения, на формы фронтов кристаллизации и на темп роста массы затвердевшего вещества. Полученные численные результаты качественно совпадают с данными физического эксперимента, проведенного параллельно с численным моделированием. Изучено влияние высоты вертикальных стенок, конечной теплопроводности нижней стенки полости и ее толщины на процессы сопряженного теплообмена. Полученные данные могут быть полезны при анализе процессов кристаллизации воды на вертикальных стенах технических сооружений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бердников В. С., Кислицын С. А., Митин К. А. Численное моделирование процессов роста кристаллов методом горизонтальной направленной кристаллизации из расплавов с различными числами Прандтля. Известия РАН. Серия Физическая. 2017. Т. 81. № 10. С. 1389–1394.

ПЛАВЛЕНИЕ СЛОЯ ЛЬДА ПРИ НАТЕКАНИИ СНИЗУ СТРУИ НАГРЕТОЙ ЖИДКОСТИ

В. С. Бердников^{1,2}, К. А. Митин^{1,2}, О. О. Гусельникова², В. А. Гришков¹

¹Институт теплофизики им. С. С. Кутателадзе СО РАН, Новосибирск

²Новосибирский государственный технический университет

Экспериментально и численно исследовано взаимодействие с расположеными сверху горизонтальными стенками, в том числе со слоем льда, струи жидкости, развивающейся над линейным источником тепла. Изучены сценарии развития термогравитационных восходящих струй над источниками тепла в зависимости от высоты слоя жидкости и мощности источника. Численное моделирование термогравитационной конвекции проведено на основе безразмерной системы Навье-Стокса в приближении Буссинеска, записанной в переменных температура, вихрь скорости и функции тока, методом конечных элементов. Задачи решались в двухмерной постановке в декартовых координатах. Исследован сопряженный конвективный теплообмен головной части струи со стенкой, в том числе в режимах плавления стенки с учетом теплоты фазового перехода [1]. Численно исследованы процессы развития плавучих струй над источником тепла в виде тонкой проволочки при заданной мощности источника тепла и в виде изотермической плоской узкой полосы, расположенной на адиабатическом дне полости. Процессы взаимодействия струй со слоем льда, ограничивающим сверху область, занятую водой, исследовались с учетом зависимости плотности от температуры. Исследованы процессы теплообмена развивающихся плавучих струй с окружающим массивом в зависимости от глубины залегания теплового источника [2, 3]. Толщина слоя жидкости влияет на сценарии развития восходящих струй и на энергетику процесса. При заданной мощности источника (как и при заданном перепаде температуры) чем глубже начинается развитие струи, тем меньшее количество тепла подходит к границе раздела сред. Расчеты с распределениями температуры на поверхности плоского источника тепла в виде гауссида показывают, что форма источника и распределение температуры на нем значительно влияют на поля изотерм вблизи источника, но уже в средней части по высоте слоя жидкости характеристики плюмов совпадают, если мощности источников тепла равны. Экспериментально исследована гидродинамика струй в зависимости от мощности источников тепла и высоты слоя жидкости [2]. Численные исследования существенно дополняют эксперимент данными о нестационарных полях температуры в жидкости и в стенках.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бердников В. С., Кислицын С. А., Митин К. А. Численное моделирование процессов роста кристаллов методом горизонтальной направленной кристаллизации из расплавов с различными числами Прандтля. Известия РАН. Серия Физическая. 2017. Т. 81. № 10. С. 1389–1394.
2. Антонов П. В., Арбузов В. А., Бердников В. С., Гришков В. А., Новоселова О. Н., Тихоненко В. В. Экспериментальные и численные исследования нестационарных плавучих струй. Автометрия. 2012. Т. 48. № 3. С. 90–100.
3. Арбузов В. А., Арбузов Э. В., Дубнищев Ю. Н., Бердников В. С., Мелёхина О. С. Визуализация фазовой структуры термогравитационной струи с реконструкцией температурного поля. Научная визуализация. 2017. Т. 9. № 1. С. 112–123.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ МОРСКОГО ЛЬДА В ОБЕСПЕЧЕНИЕ СОЗДАНИЯ ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСОВ ДЛЯ РАСЧЕТА ЛЕДОВОЙ НАГРУЗКИ

*Е. А. Бокатова¹, А. А. Добродеев¹, Н. В. Кубышкин², К. А. Лопашев¹,
К. Е. Сазонов¹, И. Саперштейн¹, О. Я. Тимофеев¹*

¹Крыловский государственный научный центр, Санкт-Петербург

²Арктический и Антарктический НИИ, Санкт-Петербург

Одной из современных тенденций развития инженерных наук является повсеместная разработка программных комплексов, позволяющих проводить на высоком уровне основные технические расчеты в области гидродинамики, прочности и конструкции, теплофизики. Одной из важных задач развития таких программных комплексов является включение в них соответствующих блоков, позволяющих вычислять ледовую нагрузку на различные инженерные сооружения. Эта задача существенно осложняется тем, что в отличие от гидродинамики или теории упругости и пластичности для льда, особенно морского, отсутствует набор основных определяющих происходящие во льду процессы уравнений. Одной из возможностей обхода указанной трудности является использование эмпирического материала о свойствах, в первую очередь прочностных, льда.

В настоящее время целым рядом заинтересованных организаций проводится работа, конечной целью которой является составление максимально обширной базы данных о прочностных свойствах льда. Для ее выполнения анализируются результаты обширных полевых исследований прочности льда, а также проводится ряд лабораторных экспериментов. Необходимость в лабораторных экспериментах обуславливается желанием охватить наибольший диапазон изменения основных параметров (в первую очередь температуры и солености льда), от которых зависят показатели прочности. Кроме этого лабораторные испытания включают в себя трудновыполнимые в полевых условиях исследования на трехосное сжатие и срез. Для изучения прочностных свойств льда использован комплекс измерительной аппаратуры, ранее применявшийся при исследованиях грунтов, который был адаптирован для изучения льда. В докладе приводятся некоторые результаты выполненных исследований.

Также обсуждается возможный набор тестовых задач, которые можно использовать для валидации разработанного программного продукта.

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ МАГИСТРАЛЬНОГО ГАЗОПРОВОДА “ПАВЛОВСК – МАЙЯ”

A. M. Большаков, A. P. Иванов

*Институт физико - технических проблем Севера им. В. П. Ларионова СО РАН,
Якутск*

В данной работе проведены исследования по оценке состояния и определению допустимого срока безопасной работоспособности магистрального газопровода (далее МГ) “Павловск-Майя” АО “Сахатранснефтегаз” по его наиболее нагруженным узлам и элементам, работающим в наиболее неблагоприятных условиях. Представлено сравнение стандартной оценки остаточного ресурса магистральных газопроводов с разработанной методикой оценки остаточного ресурса трубопроводов и резервуаров, работающих в условиях Крайнего Севера.

Для исследований были выбраны участки основного металла на различных участках МГ. В работе применялись стандартные методы измерения и контроля технических характеристик, используемые в экспертизе промышленной безопасности технических устройств. Измерение толщины стенок газопровода проводился ультразвуковым толщиномером “ТУЗ-2”, а определение твердости материала газопровода – переносным твердомером “ТЭМП -4” в шурфах, на открытых участках и крановых узлах по сечениям в четырех плоскостях по часовой стрелке по ходу движения продукта. За действительное значение толщины и твердости стенки принимается средний результат не менее чем из 3 замеров в каждой точке.

Необходимо устраниТЬ несанкционированные пересечения трассы газопровода с подъездными дорогами и установить опознавательные знаки на железнодорожном переезде. По результатам определения остаточного ресурса выяснено, что остаточный ресурс газопровода, вычисленный по разработанной методике, равен 22 годам, а остаточный ресурс, рассчитанный по стандартной методике равен 57 годам.

Исследование показало, что МГ “Павловск – Майя” находится в работоспособном состоянии. Рекомендуется ежегодно проводить контроль коррозионного состояния методами неразрушающего контроля.

ЛИТЕРАТУРА

1. ВСН 51-3-85 *Проектирование промысловых стальных трубопроводов.*
2. СП36.13330.2012 *Магистральные трубопроводы.*
3. ОСТ 153-39.4-010-2002 *Методика определения остаточного ресурса нефтегазопромысловых трубопроводов и трубопроводов головных сооружений.*
4. Иванов А. Р., Большаков А. М. *Способ оценки остаточного ресурса по изменению потери пластичности конструкционной стали.* Патент на изобретение № 2555508 от 19.02.2014г.

5. Иванов А. Р. *Разработка методики оценки остаточного ресурса трубопроводов и резервуаров, работающих в условиях Крайнего Севера*. Автореферат дисс. на соиск. уч. степени канд. техн. наук. – Новосибирск. 2011. 18 с.
6. Алексеев А. А., Сыромятникова А. С., Большаков А. М., Иванов А. Р. *Катастрофические разрушения трубопроводов и резервуаров с ветвлением трещины*. Безопасность труда в промышленности. 2013. № 1. С. 42–44.
7. Алексеев А. А., Сыромятникова А. С., Большаков А. М., Иванов А. Р. *Непроектные положения газопроводов, проложенных подземным способом в районах многолетнемерзлых грунтов*. Газовая промышленность. 2014. № 4. С. 66–69.
8. Alexeev A. A., Syromyatnikova A. S., Bolshev K. N., Bolshakov A. M., Ivanov A. R. *Crack Branching in Catastrophic Fractures of Metal Structures and Environmental Damages*. Iranica Journal of Energy and Environment. 2015. № 2. С. 98–102.
9. Большаков А. М., Иванов А. Р. *Исследование работоспособности магистрально-го газопровода Таас-Юрях-Мирный-Айхал*. Газовая промышленность. 2015. № 12. С. 60–61.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАЙМОДЕЙСТВИЯ РОВНОГО ЛЬДА С СООРУЖЕНИЯМИ КОНТИНЕНТАЛЬНОГО ШЕЛЬФА

A. С. Большев, С. А. Фролов

Санкт-Петербургский Политехнический Университет Петра Великого

Необходимость обустройства морских месторождений углеводородов связано с созданием сооружений, длительное время работающих в открытом море и подвергающихся значительному силовому воздействию ледовых образований. Как правило, влияние льда на такие объекты изучается во время их проектирования. Цель данной работы — дальнейшее развитие методологии анализа взаимодействия между ледяными образованиями и сооружениями континентального шельфа.

В статье описывается реализация динамического метода вычисления ледовых нагрузок. Предлагаемая методология может использоваться в исследовательских или проектных работах, связанных с созданием новых плавучих, заякоренных и стационарных объектов, эксплуатирующихся в арктических условиях.

В статье рассматривается развитие полученных ранее авторами математических моделей воздействия ровного льда на сооружения различного типа: стационарные платформы конической формы и моноподы, в том числе из нескольких отдельных секций, плавучие объекты, имеющие форму обратного конуса ниже ватерлинии, суда ледового класса с турельной системой заякорения, вокруг которой возможно круговое вращение объекта с весьма существенным изменением характера ледового контакта.

Расчеты ледовых нагрузок производятся на основе математического моделирования динамики движения льдов и сооружений во временной области с помощью специального ледового модуля программного комплекса Anchored Structures, разрабатываемого и совершенствуемого авторами на протяжении последних десяти лет.

Моделирование взаимодействия ледовых образований и сооружений производится для широкого диапазона характеристик льдов и параметров сооружений.

Математическая модель с достаточной точностью учитывает конечный прогиб ледового поля и его погружение в воду, постепенное пластическое разрушение льда на отдельные льдины, накопление обломков под или над льдом и многие другие эффекты взаимодействия. Все перечисленные модели объединены в один алгоритм для описания поведения ледовых полей и сооружений. В статье приводятся некоторые результаты сравнительного анализа, которые подтверждают работоспособность представленных методологий.

ВЫБОР МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДОБЫЧИ ПРИРОДНОГО ГАЗА: ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ

Э. А. Бондарев, И. И. Рожин, К. К. Аргунова

Институт проблем нефти и газа СО РАН, Якутск

Современные математические модели добычи природного газа, описывающие работу газовых скважин, кроме системы одномерных уравнений газовой динамики (трубной гидравлики) включают в себя сопряженную задачу теплообмена скважины с окружающими горными породами, где распространение тепла описывается уравнением теплопроводности. В арктических регионах верхняя часть горных пород (до 600 м) — многолетняя мерзлота. Здесь для адекватного описания процесса добычи и для прогнозирования возможных осложнений (деформация устья скважины при оттаивании, образование гидратов) необходимо решать сопряженную задачу Стефана.

Эти системы уравнений дополняются соответствующими начальными и граничными условиями, среди которых важнейшую роль играет условие сопряжения тепловых потоков на внешней поверхности скважины и в горных породах. Модель еще усложняется при необходимости учитывать гидратообразование в скважине, приводящее к уменьшению площади проходного сечения и даже к полной ее закупорке.

До настоящего времени при формулировке условий сопряжения использовалось приближение, основанное на особенностях физики процесса: высокая скорость переноса тепла газовым потоком в скважине по сравнению со скоростью кондуктивного переноса в горных породах. Это позволяло пренебрегать осевой составляющей кондуктивного потока, то есть рассматривать только радиальную составляющую в каждом из фиксированных сечений скважины [1, 2].

В докладе излагаются результаты вычислительного эксперимента, в котором это допущение было проверено для наиболее часто реализуемых ситуаций работы газовых скважин. Получены следующие основные результаты. 1) При длительной работе скважин в мерзлых породах (примерно 1 год) без образования гидратов различие в положении границы фазового перехода, вычисленное для точной (двумерной) и приближенной постановок, заметно только вблизи дневной поверхности. 2) Если работа скважины приводит к образованию гидратных пробок, то обе постановки приводят к идентичным результатам по всем технологическим параметрам (распределение температуры и давления по глубине скважины, положение гидратной пробки и положение границы протаивания мерзлых пород). На основании этих результатов можно

сделать вывод о применимости более простой математической модели почти во всех случаях, представляющих интерес для практики, за исключением низкой надежности конструкции устья скважины, когда имеется опасность потери ее устойчивости.

Работа выполнена в рамках Госзаказа ФАНО РФ (№ 0377-2016-0003).

ЛИТЕРАТУРА

1. Бондарев Э. А., Воеводин А. Ф. *Решение задач трубной гидравлики в системах добычи и транспорта природного газа*. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2017.
2. Бондарев Э. А., Рожин И. И., Аргунова К. К. *Особенности математического моделирования систем добычи и транспорта природного газа в арктической зоне России*. Записки Горного института. 2017. Т. 228. С. 705–716.

ОБОСНОВАНИЕ ФОРМЫ КОРПУСА И ХАРАКТЕРИСТИК ВИНТО-РУЛЕВОГО КОМПЛЕКСА ГРУЗОПАССАЖИРСКОГО ПАРОМА КЛАССА ARC5

Ю. В. Бондаренко¹, А. И. Азовцев¹, В. Г. Бугаев²

¹МГУ им. адм. Г. И. Невельского, Владивосток

²Дальневосточный федеральный университет, Владивосток

Целью исследования является обоснование формы корпуса и характеристик винто-рулевого комплекса грузопассажирского парома класса Arc5.

В качестве объекта исследования был принят действующий паром на линии Ванино-Холмск — паром типа “Сахалин”, проект 1809, а также новый концепт автомобильно-железнодорожного парома ледокольного типа неограниченного района плавания проекта CNF11CPD, спроектированный “Морским инженерным бюро”.

Для решения цели исследования были поставлены следующие задачи:

- обоснование и выбор расчетных характеристик парома;
- разработка типового варианта судна;
- определение сопротивления на чистой воде, ледового сопротивления;
- проектирование гребного винта судна ледового плавания;
- создание 3D-модели поверхности корпуса судна и винто-рулевого комплекса (винто-рулевой колонки типа Azipod), позволяющие выполнить параметрическое исследование и анализ формы корпуса и винто-рулевого комплекса как системы.

Решение задачи осуществлялось с помощью модуля Flow Simulation SolidWorks с элементами параметрического исследования. Для этого с помощью программы трехмерного моделирования SolidWorks была создана судовая поверхность грузопассажирского парома, трехмерная модель винта, спроектированного по книге А.М. Игнатьева [2], а также была построена трехмерная модель винто-рулевой колонки типа Azipod. В ходе решения задачи были определены: зависимость сопротивления воды от скорости судна; ледовое сопротивление; гидродинамические характеристики винто-рулевой колонки в автономном режиме работы; взаимное влияние элементов системы судно-винто-рулевая колонка. А также были построены: кривая сопротивления воды движению судна, кривые действия винта, паспортная диаграмма судна, по-

которой можно судить о взаимном влиянии судовой поверхности с винто-рулевыми колонками.

Из сопоставления расчета кривых действия винта, выполненных традиционным способом и с помощью Solid Works, видно, что значение коэффициента момента и упора, рассчитанных во Flow Simulation, согласуются с значениями коэффициента момента и упора при традиционном способе расчета, и при увеличении скорости разница в расчетах сглаживается. Также из представленных графиков можно увидеть, что кривые коэффициента момента и упора при малых значениях скорости уходят вверх, нежели при традиционном способе расчета. Из построенной паспортной диаграммы судна следует, что - скорость судна 5 м/с будет обеспечена при частоте вращения винтов 100 об/мин; скорость судна 6 м/с будет обеспечена при частоте вращения 125 об/мин; скорость судна 8 м/с при частоте вращения винтов 162 об/мин. Спроектированные винто-рулевые колонки могут обеспечить необходимую мощность на валах, при частоте вращения от 100 до 162 об/мин, что не противоречит данным производителя винто-рулевых колонок.

В качестве заключения можно утверждать, что спроектированный винт хорошо работает как на передний, так и на задний ход, т.е. проектируемый грузопассажирский паром будет обладать достаточной маневренностью. Рассматривая взаимодействия винта с гондолой можно прийти к выводу, что наличие гондолы приводит к увеличению коэффициента полезного действия, что четко прослеживается из кривых действия винта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Aksenov A., Pokhilko V., Dyadkin A. *Numerical Simulation of water flow around ship with screw propeller*. Proceedings of ASME PVP, COMPUTATIONAL TECHNOLOGY (CFD). Hyatt Regency, Atlanta, USA. 2001.
2. Игнатьев М. А. *Гребные винты судов ледового плавания*. Л.: Судостроение, 1966.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФИЛЬТРАЦИИ МЕТАНА И УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА С УЧЕТОМ ОБРАЗОВАНИЯ ИЛИ РАЗЛОЖЕНИЯ ГИДРАТОВ ЭТИХ ГАЗОВ

С. Л. Бородин¹, Д. С. Бельских²

¹ Тюменский филиал Института теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН

² Тюменский государственный университет

Природный газ является одним из основных энергоносителей, например в 2015 году на него приходится 21,6% произведенной мировой энергии и его доля постоянно растет [1]. Оценка мировых запасов природного газа в традиционной извлекаемой форме на конец 2016 года составляет 186,6 трлн м³ [2], в газовых гидратах от 1 000 до 20 000 трлн м³ [3]. Таким образом, при текущем уровне потребления 3,5 трлн м³ в

год [2] традиционных запасов хватит примерно на 50 лет, а газа из газовых гидратов – минимум на 250 лет. В связи с истощением традиционных месторождений проблема разработки гидратосодержащих залежей может стать одной из важнейших проблем XXI века.

Для эффективной разработки необходимо предварительное теоретическое исследование. Одним из перспективных методов извлечения гидратного природного газа является его замещение диоксидом углерода. При этом через одну скважину в пласт подается диоксид углерода, который занимает место природного газа в гидрате и остается в пласте, а через другую скважину ведется добыча выделившегося природного газа. При этом достигаются две цели – захоронение парникового диоксида углерода и получение энергоносителя.

Работа посвящена обзору современных исследований в данной области, а также построению математической модели описанной задачи на основе этого обзора, законов сохранения, уравнений фильтрации и теплофизики.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований в рамках научного проекта № 18-31-00069.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Key World Energy Statistics 2017*.
<http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/KeyWorld2017.pdf>
(дата обращения 29.03.2018).
2. *BP Statistical Review of World Energy June 2017*.
<https://www.bp.com/content/dam/bp/en/corporate/pdf/energy-economics/statistical-review-2017/bp-statistical-review-of-world-energy-2017-natural-gas.pdf> (дата обращения 29.03.2018).
3. *Resources to Reserves 2013 – Oil, Gas and Coal Technologies for the Energy Markets of the Future*. International Energy Agency, 2013.

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ИЗНОС ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ ПРИ ТРИБОКОНТАКТЕ

С. А. Бочкарева^{1,2}, Н. Ю. Гришаева^{1,2}, П. А. Люкшин¹, Б. А. Люкшин^{1,2,3},
С. В. Панин^{1,4}, Н. Ю. Матолыгина¹

¹Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск

²Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники

³Национальный исследовательский Томский государственный университет

⁴Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Номенклатура полимерных композиционных материалов постоянно расширяется за счет синтеза новых либо химической/структурной модификации уже разработанных матриц. Такие материалы находят широкое применение в качестве футеровочных слоев (покрытий), работающих в условиях трения скольжения в широких температурных диапазонах и при высоких удельных нагрузках.

Широкое применение в качестве футеровочного материала получили композиции на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ). Это, в том числе, связано с тем, что механические свойства СВМПЭ практически не меняются в диапазоне температур от -269°C до $+90^{\circ}\text{C}$. Это также открывает широкие перспективы применения СВМПЭ в разнообразных арктических приложениях.

Важным аспектом при расчете трибосопряжений является учет влияния температуры на изменение физико-механических свойств материала. С одной стороны, изменение температуры является неизбежным условием работы трибоконтакта, когда происходит превращение механической энергии относительного движения в тепловую энергию поверхностных слоев труящихся тел (фрикционный нагрев). С другой стороны, оказывается влияние окружающей среды, шероховатости контртела и других факторов на температуру и, как следствие, на деформационно-триботехнические свойства материалов.

В работе рассматривается подход, позволяющий рассчитать температуру в условиях трибосопряжения и оценить ее влияние на трение и износ. Свойства испытываемого образца полимерного материала приняты таковыми для СВМПЭ, материал контртела — сталь.

Процесс взаимодействия образца ПКМ с контртелом (сухое трение скольжения по схеме «вал-колодка») моделируется на основе решения задачи о напряженно-деформированном состоянии (НДС) тел с учетом нормальной и касательной нагрузок в зоне контакта и задачи нестационарной теплопроводности. Для решения используется метод конечных элементов (МКЭ).

Путем проведения параметрических исследований получается оценка влияния температуры в трибоконтакте на износ полимерного композита, а также влияние толщины полимерного слоя, имитирующего футеровочное покрытие из ПКМ, на его износ.

Работа выполнена при финансовой поддержке Федеральной целевой программы Министерства науки и образования РФ (идентификатор проекта RFMEFI60417X0154).

МОДЕЛИРОВАНИЕ РОСТА МНОЖЕСТВЕННЫХ ТРЕЩИН ПРИ МНОГОСТАДИЙНОМ ГИДРОРАЗРЫВЕ ПЛАСТА В РАМКАХ МОДЕЛИ PSEUDO 3D

С. А. Буденный¹, Р. Н. Никитин¹, А. А. Ерофеев¹, Р. М. Ситдиков¹, Г. В. Падерин²

¹ООО "Инженеринговый центр МФТИ", Долгопрудный

²ООО "Газпромнефть-НТЦ", Санкт-Петербург

В работе представлена физико-математическая модель, описывающая процесс формирования множественных трещин при многостадийном гидродразрыве пласта (МГРП), рассмотрены особенности ее численной реализации и результаты проведения тестовых расчетов. Моделирование динамики роста трещин осуществляется в рамках кусочно-заданной псевдотрехмерной модели (Cell-based Pseudo 3D) с учетом связанного решения задач механики разрушения горной породы в процессе роста

трещин и многофазного течения смеси проппанта, выступающего в роли расклинивающей дисперсной фазы, и жидкости неньютоновской степенной реологии. Кусочно-заданная модель P3D является обобщением модели РКН на случай многослойной литологии. В данной модели трещина делится на ячейки, для каждой из которых профиль раскрытия трещины рассчитывается независимо, ячейки связаны при этом гидродинамически.

Совместный расчет реализован в единой системе уравнений и дискретизируется с помощью неявной разностной схемы, линеаризация осуществляется методом Ньютона. Для расчета параметров потока (расхода, давления, концентрации проппанта) в точках инициации множественных трещин по заданным устьевым данным в модели реализован итеративный расчет гидравлики в стволе скважины на основе гомогенной многофазной модели.

Для определения траектории развития трещин ГРП предусмотрены задание произвольного поля напряженного деформированного состояния пласта и учет его изменения, вызванного влиянием разрывных смещений породы при развитии трещин.

В разработанной модели приняты следующие допущения. Деформация горной породы рассматривается как линейно-упругая: компоненты напряжений являются линейными функциями компонент деформаций. Отсутствует запаздывание фронта жидкости перед кончиком трещины. Внутренняя поверхность трещины и стенок скважины считается гладкой. Нелокальная связь между давлением внутри трещины и ее раскрытием задается для эффективной среды (упругие свойства неоднородной среды заданы как средневзвешенное по вскрывающимся трещиной слоям). Жесткость обсадной колонны значительно превышает жесткость породы: внутрискважинное давление не влияет на напряженное состояние в окрестности скважины.

Разработанная модель позволяет проводить оценку эффективности применения технологии МГРП с несколькими кластерами перфораций или портами ГРП в рамках одной стадии, а также выполнять оптимизацию заканчивания горизонтальной скважины.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (Соглашение о предоставлении субсидии №14.581.21.0027 от 03.10.2018 г., уникальный идентификатор RFMEFI58117X0027). Индустриальный партнер проекта – ООО “Газпромнефть НТИ”.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ КОМПОЗИТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ЛЕДЯНОЙ МАТРИЦЕЙ, АРМИРОВАННЫХ ГЕОСЕТКАМИ

В. М. Бузник¹, С. К. Голушко^{2,3}, Г. А. Нужный¹, А. А. Очиров^{2,3}

¹*ФГУП “Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов” ГНЦ РФ, Москва*

²*Новосибирский государственный университет*

³*Институт вычислительных технологий СО РАН, Новосибирск*

При определении физико - механических свойств композиционных материалов (КМ) используются два основных подхода: феноменологический и структурный. В рамках первого подхода армированные материалы моделируются однородной анизотропной средой с эффективными физико-механическими свойствами, а механические параметры материала определяются при этом из экспериментов. Поскольку в общем случае характеристики анизотропного материала являются функциями координат, возникает необходимость проведения серий экспериментов для каждой точки конструкции, что практически невозможно реализовать. При структурном подходе физико-механические характеристики композита удается выразить через характеристики его компонентов и структурные параметры армирования [1]. В результате по известным средним напряжениям и деформациям КМ удается восстановить напряжения и деформации в связующем материале и армирующих элементах, что открывает широкие перспективы и возможности для улучшения свойств композитных конструкций.

Математическое моделирование композитных материалов и конструкций с ледяной матрицей является одной из актуальных задач, способствующих освоению и развитию Арктики. Лед может эффективно использоваться при строительстве ледовых дорог, переправ, взлетно-посадочных полос, дамб, причалов в Арктических регионах. В ФГУП “ВИАМ” ГНЦ РФ ведутся экспериментальные исследования композитных материалов, в том числе, с использованием ледяных матриц, армированных различными материалами [2]. Возникает необходимость в разработке математических моделей таких материалов, в проведении численных расчетов и анализе деформирования элементов конструкций с ледяными матрицами, в построении комплексов прикладных программ, в которых будут реализованы построенные математические модели и алгоритмы. Доклад посвящен обсуждению возможных подходов к решению указанных проблем.

Исследования поддержаны Российским научным фондом (код проекта 18-13-00392).

ЛИТЕРАТУРА

1. Голушко С. К., Немировский Ю. В. *Прямые и обратные задачи механики упругих композитных пластин и оболочек вращения*. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008.
2. Бузник В. М., Ландик Д. Н., Ерасов В. С., Нужный Г. А. *Физико-механические свойства композиционных материалов на основе ледяной матрицы*. Материаловедение. 2017. № 2 (239). С. 33–40.

ОЦЕНКА ЗНАЧИМОСТИ ВЛИЯНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ МАТЕРИАЛА НА УДАРНУЮ ВЯЗКОСТЬ РАЗЛИЧНЫХ ЗОН ЛИСТОВОЙ РЕССОРЫ ПРИ СНИЖЕНИИ ТЕМПЕРАТУРЫ ИСПЫТАНИЙ

И. И. Буслаева¹, С. П. Яковлева²

¹Якутский научный центр СО РАН

²Институт физико-технических проблем Севера им. В. П. Ларионова СО РАН,
Якутск

Одной из актуальных проблем обеспечения работоспособности транспортных средств на Севере является необходимость повышения долговечности упругих элементов подвески. Продолжительность эксплуатации рессор и пружин значительно сокращается в условиях совместного действия ударных циклических нагрузок при движении по дорогам с неровной поверхностью (автозимники, грунтовые дороги) и климатического холода [1]. Поэтому изучение накопления структурной поврежденности материала упругих элементов имеет большое значение для диагностики их текущего состояния и прогнозирования ресурса. Необходимым этапом таких исследований является определение значимости зональной неоднородности возникающих при эксплуатации структурных изменений, обусловленных различной нагруженностью. Цель работы: исследование значимости влияния изменений материала, возникающих в различных зонах рессоры при эксплуатации в условиях криолитозоны, на сопротивление рессорной стали хрупкому разрушению при снижении температуры до -60°C. Объектом исследования послужила претерпевшая усталостное разрушение при эксплуатации в дорожно-климатических условиях Якутии рессора передней подвески автомобиля КАМАЗ, выполненная из стали 60С2. Рассматривали три группы продольных образцов Шарпи, вырезанных из расположенных вдоль рессоры трех участков, ранжированных по интенсивности действовавших эксплуатационных нагрузок. Стандартные испытания образцов на ударную вязкость проведены при +20°, -20° и -60°C. Результаты показали, что наибольший разброс KCV наблюдается в зонах крепления. Для анализа изменчивости ударной вязкости по зонам рессоры проведен дисперсионный анализ. Сравнение наблюдаемой статистики Фишера с рассчитанным критическим значением показало, что при приемлемом для практических задач уровне значимости $\alpha = 0,05$ фактор поврежденности при температурах испытаний +20°C и -20°C влияет на ударную вязкость стали 60С2 незначимо, а при температуре -60°C различия достоверны, что позволяет считать, что при этой температуре структурная поврежденность материала зоны рессоры существенно влияет на ее сопротивление хрупкому разрушению. Полученные результаты указывают на необходимость зонирования при оценке структурных повреждений в материале рессор.

ЛИТЕРАТУРА

1. Буслаева И. И., Ишков А. М., Левин А. И. *Оценка работоспособности рессор грузовых автомобилей в условиях Севера РФ*. Сборник трудов Евразийского симпозиума по проблемам надежности материалов и машин для регионов холодного климата. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та. 2014. С. 347–351.

ВЛИЯНИЕ УРОВНЯ МЕЗОПОВРЕЖДЕННОСТИ НА ХЛАДОСТОЙКОСТЬ И МИКРОМЕХАНИЗМЫ РАЗРУШЕНИЯ РЕССОРНОЙ СТАЛИ

И. И. Буслаева¹, С. П. Яковлева², С. Н. Махарова², А. И. Левин¹

¹Якутский научный центр СО РАН

²Институт физико-технических проблем Севера им. В. П. Ларионова СО РАН,
Якутск

В арктическом материаловедении одним из основных требований к металлам является сохранение хладостойкости в течение всего периода эксплуатации, в том числе в условиях действия циклических нагрузок и появления усталостных повреждений.

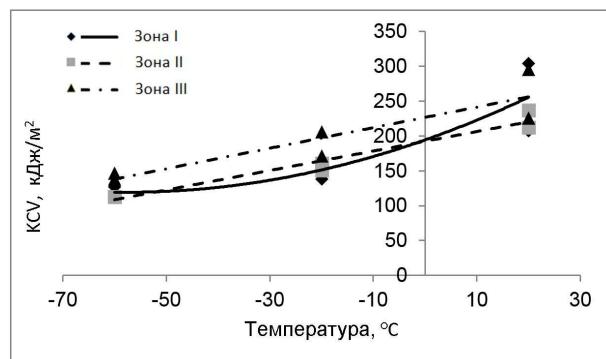


Рис. 1: Температурные зависимости ударной вязкости металла разных зон рессоры

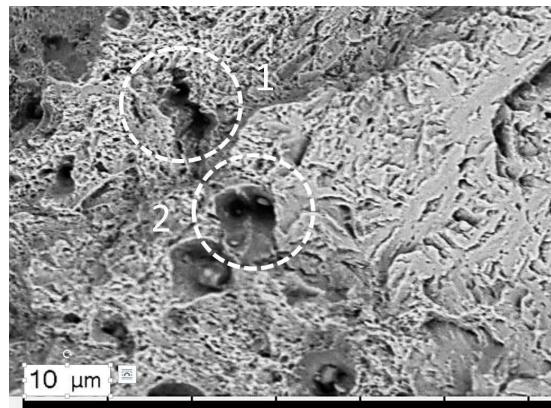


Рис. 2: Слияние пор: 1 - “технологических”, 2 - деформационных

Цель работы: изучить влияние мезоповрежденности, сформировавшейся в листе рессоры автомобиля КАМАЗ ко времени усталостного разрушения при эксплуатации в условиях Севера, на ударную вязкость материала (сталь 60С2) при снижении температуры до -60°С. Особенностью структуры данных рессор являются статистически распределенные поры технологического генезиса, претерпевающие некоторые

изменения при эксплуатации детали, а также деформационные поры. Наблюдавшиеся поры по размерам не превышали 40 мкм и были отнесены к поврежденности мезомасштабного уровня. Исследовали три группы образцов Шарпи, вырезанных из различных зон рессоры и ранжированных по интенсивности действовавших эксплуатационных нагрузок. Предварительно были оценены характеристики пористости [1]. В рамках данной работы проведены испытания на ударную вязкость, выявлены микромеханизмы разрушения и проанализированы особенности тонкого рельефа изломов, объясняющие характер влияния мезоповреждений на сопротивление металла зарождению и развитию трещин. Уровень ударной вязкости (рис. 1) указывает на удовлетворительную хладостойкость рассматриваемой стали даже после определенной наработки в дорожно-климатических условиях Севера. Показано, что это в значительной степени определяется присутствием пор, механизм влияния которых на сопротивление хрупкому разрушению связан с возможностью протекания деформации в их окрестности в процессе роста и слияния (рис. 2), что увеличивает энергию разрушения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Yakovleva S. P., Buslaeva I. I., Makharova S. N., Levin A. I. *Operational Damage to the Structure and Failure of the KAMAZ Truck Spring in the Temperature-Load Conditions of the North*. Journal of Machinery Manufacture and Reliability. 2017. V. 46. No. 5. pp. 488–493. ISSN: 1052-6188 DOI: 10.3103/S1052618817050144.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ИЗМЕНЕНИЕ ГРАНИЦ ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ

Н. А. Ваганова, М. Ю. Филимонов

Институт математики и механики им. Н. Н. Красовского УрО РАН, Екатеринбург

Уральский федеральный университет, Екатеринбург

В России более 60 % ее территории заняты вечной мерзлотой. Наиболее широко она распространена в Восточной Сибири и Забайкалье. В районах распространения вечной мерзлоты расположены основные российские месторождения нефти и газа. Добыча углеводородов на этих месторождениях приводит к протаиванию вечной мерзлоты и к возможным опасным просадкам земной поверхности вокруг инженерных объектов на кустовых площадках. Большинство промышленных сооружений в зоне вечной мерзлоты строятся и эксплуатируются по принципу сохранения мерзлого состояния грунтов оснований. Поэтому проблема уменьшения интенсивности теплового взаимодействия в системе «источник тепла – вечная мерзлота» является актуальной задачей, поскольку имеет особое значение для решения задач безопасности, экономии затрат и повышения эксплуатационной надежности инженерных сооружений.

Для долгосрочного моделирования криогенных явлений основные математические модели и подходы к решению таких задач изложены в главе 5 монографии [1],

на основании которых разработаны прикладные программы [2]-[5], использованные при обустройстве 12-ти российских нефтегазовых месторождений.

В этой работе приведена математическая модель и численные расчеты для некоторых технических систем, используемых на северных нефтегазовых месторождениях. Детально описана методика, позволяющая учесть специфические условия,ственные для конкретной кустовой площадки, и учесть наиболее существенные климатические и физические параметры, которые оказывают влияние на распространение тепловых полей в грунте.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 16-01-00401).

ЛИТЕРАТУРА

1. Filimonov M., Vaganova N. *Advances in Environmental Research. V. 54. Chapter 5. Numerical Simulation of Technogenic and Climatic Influence on Permafrost.* NY: Nova Science Publishers, 2017. Pp. 117–142.
2. Ваганова Н. А., Филимонов М. Ю. *Прогнозирование изменений в вечной мерзлоте и оптимизация эксплуатации инженерных систем.* Сибирский журнал чистой и прикладной математики. 2013. Т. 13. № 4. С. 37–42.
3. Filimonov M. Yu., Vaganova N. A. *Simulation of Technogenic and Climatic Influences in Permafrost.* Lect. Notes Comput. Sci. 2015. V. 9045. Pp. 178–185.
4. Filimonov M. Yu., Vaganova N. A. *Simulation of permafrost changes due to technogenic influences of different engendering constructions used in northern oil and gas fields.* Journal of Physics: Conference Series. 2016. V. 754. No. art. 112004.
5. Filimonov M., Vaganova N. *Permafrost thawing from different technical systems in Arctic regions.* IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 2017. V. 72. No. art. 012006.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ РАСПРОСТРАНЕНИЯ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН ПОД ДЕЙСТВИЕМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИМПУЛЬСНОГО ИСТОЧНИКА

M. П. Варыгина

Институт вычислительного моделирования СО РАН, Красноярск

Нефтегазодобывающие компании заинтересованы в эффективных методах поиска и локализации насыщенных углеводородами пластов. Классические геофизические методы могут оказаться не эффективными в сложных геологических условиях, когда месторождения имеют мозаичную структуру. Предлагается повысить точность сейсморазведки за счёт применения высокоплотных систем наблюдения и одиночных импульсных источников. Высокая плотность разведки значительно повышает прогноз коллекторских свойств, а применение одиночных источников снижает эффект

пространственного фильтра на излучаемый сигнал. По сравнению со взрывными работами и вибрационным методом, импульсные источники дают четко определенные параметры воздействия на среду и обеспечивают идентичность излучаемого сигнала.

В работе проведены вычислительные эксперименты, моделирующие распространение сигнала от импульсного источника “Енисей” и взаимодействие сигнала с тонким пластом для различных конфигураций и параметров пласта. Для моделирования процессов распространения акустических волн в слоистых средах разработан параллельный вычислительный алгоритм, основанный на методе двуциклического расщепления по пространственным переменным в сочетании с монотонной одномерной ENO-схемой для решения одномерных задач. Распараллеливание вычислений выполнено по технологии CUDA (Compute Unified Device Architecture) для суперкомпьютеров с графическими ускорителями.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОЛОГО-ЭКОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА

А. Ф. Воеводин¹, В. С. Никифоровская¹, Н. А. Лаптева²

¹Институт гидродинамики им. М. А. Лаврентьева СО РАН, Новосибирск

²ФБУН ГНЦ ВБ “Вектор” Роспотребнадзора, Кольцово

В условиях глобального потепления климата и интенсивного освоения Арктики требуется тщательное исследование (изучение) происходящих в этом регионе перемен.

В этой связи особую актуальность приобретают проблемы качества воды, охраны водных объектов от загрязнений, поступающих в водные объекты при строительстве и эксплуатации промышленных предприятий, водохозяйственных систем, гидротехнических сооружений и др., возведенных на водных артериях и на примыкающих к ним территориях.

В некоторых случаях может иметь место тепловое загрязнение водных объектов, вызванное, например, аварийными сбросами в них горячих вод промышленными предприятиями, ТЭЦ, АЭС. Оценка степени воздействия источника загрязнения на водную среду требуют учета возникающих при этом гидродинамических, физических, а также химико-биологических процессов.

Численное моделирование возможного изменения гидрологических режимов в открытых водотоках и их системах, а также происходящих в них гидрохимических процессов при неустановившемся течении, проводится с помощью математических моделей и численных методов, разработанных в Институте гидродинамики СО РАН.

Для расчета гидравлических характеристик используется система одномерных уравнений мелкой воды (уравнения Сен–Венана), характеристик качества воды – однотипные уравнения переноса тепла, кислорода и других субстанций.

Созданный на базе разработанных численных методов и алгоритмов комплекс программ позволяет решать на ЭВМ широкий круг научно-исследовательских и практических (прикладных) задач по гидролого-экологическому обоснованию водохозяйственных проектов; производить оценку возможных отрицательных воздействий их на окружающую среду, а также дает возможность разработать эффективные защитные мероприятия при катастрофических явлениях на водных объектах [1-4].

Приводятся примеры численного моделирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Комплекс гидравлических моделей для решения проблем рационального использования водных ресурсов*. Рекламный проспект. Внешторгиздат. 1989. Изд. № 6120 МВ.
2. Воеводин А. Ф., Никифоровская В. С. *Математическое моделирование характеристик качества воды в системах открытых русел*. В сб. Доклады по вопросам математического моделирования качества воды водоемов. Москва. СЭВ. 1978.
3. Никифоровская В. С. *Математическая модель для расчета на ЭВМ гидрофизических процессов в устьевых областях рек*. В сб.: Гидрофизические процессы в реках и водохранилищах. М.: Наука, 1985. С. 211–216.
4. Никифоровская В. С. *Численное моделирование тепломассопереноса в водных объектах*. Метеорология и гидрология. 2013. № 4. С. 79–88.

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК В РУДНИКАХ КРИОЛИТОЗОНЫ

A. Ф. Галкин, И. С. Романов

Санкт-Петербургский горный институт

Повышение энергетической эффективности горных выработок рудников криолитозоны позволяет снизить затраты на кондиционирование рудничного воздуха. Обычно на шахтах и рудниках используются комплексные горнотехнические системы регулирования теплового режима «теплообменные выработки - калориферная установка». Такие системы достаточно эффективны и позволяют снизить затраты на создание нормативных параметров микроклимата на рабочих местах, в среднем, на 20-40%. А, во многих, практически интересных случаях, вообще отказаться от калориферных установок и перейти полностью к “безэнергетическим системам” (по классификации Ю. Д. Дядькина) регулирования теплового режима рудников. Сложность использования такого способа кондиционирования заключается в том, что требуется иметь достаточно большой объем отработанных горных выработок, которых на вновь строящихся рудниках Севера нет. Поэтому для новых рудников криолитозоны с небольшим сроком службы, разрабатывающих рудные тела небольших размеров (малые рудные тела) актуальным является не использование специальных теплообменных выработок, а повышение энергетической эффективности основных воздухоподающих выработок за счет интенсификации теплообмена рудничного воздуха с горными породами.

Целью настоящей работы явилось обоснование и разработка нового способа интенсификации теплообмена в действующих горных выработках рудников Севера, эксплуатирующихся с нерегулируемым тепловым режимом. Основная задача состояла в том, чтобы создать такую технологию, которая бы отрицательно не влияла на главное технологическое назначение выработок. Но, в то же время, позволяла обеспечить требуемые параметры микроклимата по следующим основным факторам: а)

безопасности ведения горных работ в холодный период года; б) устойчивости горных выработок (исключение “растяжения горных пород”) в теплый период года.

Для достижения цели был выполнен аналитический обзор отечественных и зарубежных литературных источников, а также проведен патентный поиск. Результаты показали, что в настоящее время данной проблеме уделяется мало внимания. Имеющиеся разработки в основном направлены на интенсификацию процессов теплообмена в специальных теплообменных выработках и не могут быть использованы в основных выработках. Хотя, отдельные элементы разработанных технических устройств и способов могут быть адаптированы к условиям рудников криолитозоны.

Предложена и обоснована новая технология повышения энергетической эффективности основных воздухоподающих выработок и устройства для ее осуществления, которые обладают патентной чистотой и, что важно, могут быть легко реализованы на практике.

РАЗРАБОТКА ТРЕБОВАНИЙ К ИНФОРМАЦИОННОЙ ВИМ МОДЕЛИ ЭКСПЛУАТАЦИИ АРКТИЧЕСКИХ ПОРТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ

П. А. Гарин, Е. О. Ольховик

ФГБОУ ВО “ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова”, Санкт-Петербург

Внедрение ВИМ технологий является важным направлением развития в строительстве, однако для задач ремонта, реконструкции, технического обслуживания, эксплуатации и мониторинга существующих объектов портового гидротехнического строительства использование информационных технологий жизненного цикла существенно затруднено, поскольку отсутствуют исходные цифровые проектные 3D модели и достоверная информация о свойства применяемых материалов. В данной работе рассматриваются общие требования для разработки ВИМ модели эксплуатации арктических портовых сооружений морского транспорта, которые являются сложной природно-технической системой “причальное сооружение - основание - водная среда”. Мы предлагаем использовать существующие сведения, полученные по результатам инструментального мониторинга технического состояния за прошлые годы для разработки информационной модели сооружения, дополнительно будут использоваться открытые источники о гидрометеонаблюдениях.

Предложены основные подходы для создания ВИМ модели в целях дальнейшей безопасной эксплуатации арктических портовых конструкций с учетом недостатка персонала и ограниченного навигационного периода.

Предложены практические рекомендации по проведению инструментального обследования арктических портовых сооружений, автоматизированного деформационного мониторинга и гидрометеомониторинга, типовые схемы составления и обработки информационных моделей (ВИМ), временной план производства работ.

Предложенная методика разработки ВИМ-модели существующего сооружения позволит собственнику или эксплуатирующей организации самостоятельно построить информационную модель для эксплуатации, что обеспечит более качественную эксплуатацию объекта с учетом жизненного цикла.

ОСОБЕННОСТИ СОСТАВА БИТУМОИДОВ ДОННЫХ ОСАДКОВ ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ ВОСТОЧНО-СИБИРСКОГО МОРЯ

Ю. С. Глязнецова, И. Н. Зуева, О. Н. Чалая, С. Х. Лифшиц

Институт проблем нефти и газа СО РАН, Якутск

В целях изучения влияния антропогенного воздействия, и в частности нефтезагрязнения, на арктические экосистемы изучен состав хлороформенных битумоидов (ХБ), извлеченных из проб донных осадков, отобранных в районе морского порта Зеленый Мыс (р. Колыма) и прибрежной зоны Восточно-Сибирского моря (ВСМ).

В донных осадках морского порта выход ХБ достигает 25500 мкг/г. Пробы с максимальным содержанием ХБ характеризуются как нефтезагрязненные. На это указывают данные группового состава с резким преобладанием углеводородов (УВ) над суммой смолистых компонентов и особенности химической структуры ХБ с доминированием кислородсодержащих групп и связей. Н-алканы составляют 28% от суммы идентифицированных УВ с максимумом распределения в области нC_{15,16} (см. рисунок). CPI (отношение суммы нечетных к сумме четных алканов) - 0,70, что типично для нефти и нефтепродуктов. Соотношение изопреноидов к н-алканам и характер распределения изопреноидов указывают на процессы биодеградации нефтяных УВ.

В пробах, отобранных в прибрежной зоне ВСМ, выход ХБ намного меньше 193-1577 мкг/г. ХБ однотипны по составу, а по особенностям распределения индивидуальных насыщенных УВ обнаруживают большое сходство с терригенным органическим веществом (ОВ) (см. рисунок). Для липидов этого типа ОВ характерно преобладание нечетных УВ в диапазоне нC₂₃-нC₃₅ и высокие концентрации нC₂₇, нC₂₉, нC₃₁.

Таким образом, по геохимическим данным чётко установлены различия в составе ХБ донных осадков нефтезагрязнённых проб морского порта и проб прибрежной зоны ВСМ, характерных для природного геохимического фона.

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТВЕРДЕЮЩЕГО ПОРТЛАНДЦЕМЕНТА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ

А. И. Гныря, Ю. А. Абзаев, С. В. Коробков, К. С. Гаусс

Архитектурно-строительный университет, Томск

Твердение бетонов является многофакторным процессом, на которое оказывает влияние водоцементное отношение, температура, влажностные условия, содержание фаз и т.д. [1-3]. И, как следствие, достижение бетонами служебных характеристик оказывается индивидуальным. Представляет интерес изучение механических свойств гидратированного цементного камня в зависимости от времени и температуры.

Механические испытания сжатием образцов цементного камня проводились на испытательной машине Instron 3382. Размеры прямоугольных образцов были выбраны

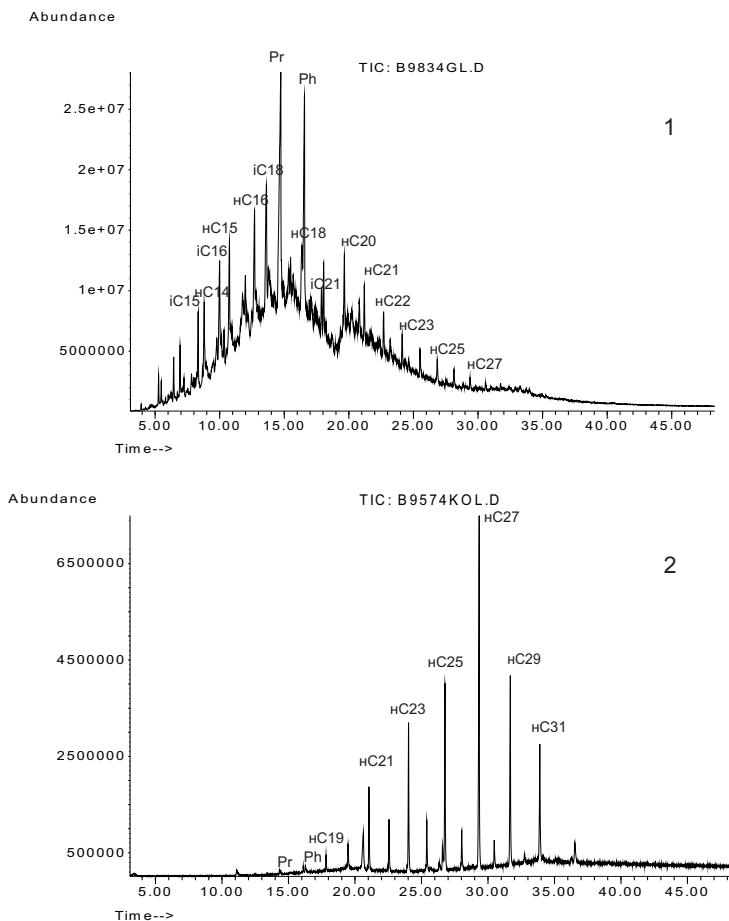
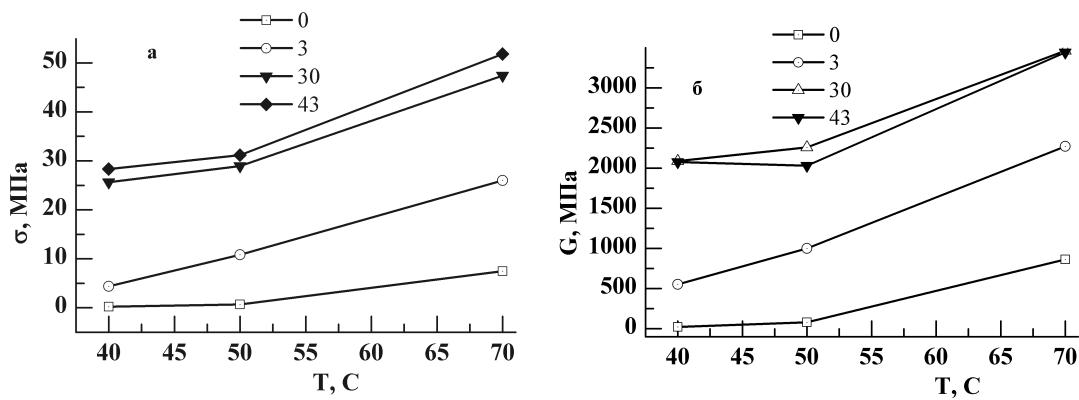


Рис. 3: Распределение насыщенных УВ в пробах донных осадков морского порта (1) и прибрежной части ВСМ (2)

равными $20 \times 20 \times 20$ мм. Изотермические испытания производились во влажностной камере. Цементное тесто разогревалось до температуры изотермического прогрева 40, 50, 70 °C в течение 3, 5, 8 часов соответственно. На следующем этапе твердение происходило в пропарочной камере с влажностной средой при постоянной температуре. При температуре прогрева 40 °C были выбраны следующие значения времени: 0, 3, 6, 19, 30, 43, 54, 67 часов. При температуре прогрева 50 °C – 0, 3, 6, 19, 30, 43 часов. При температуре прогрева 70 °C – 0, 3, 17, 27, 41, 51 часов. На рис. 1 приведены температурные зависимости предела текучести (а) и модуля упругости (б) для 0, 3, 30 и 43 часов твердения.

Установлено, что температура и время изотермического твердения оказывают существенное влияние на накопление прочности цементного камня в области пластической деформации. Значительно возрастают также упругие модули. Выявлено, что с ростом времени твердения значительно сокращается пластическая область и в конце исследованного интервала (0-67) при всех температурах разрушение образцов происходит хрупким образом. Основной характеристикой оценки прочностных свойств оказывается предел текучести.



Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта №18-08-01025).

ЛИТЕРАТУРА

- Баженов Ю. М. *Технология бетона*. М.: ACB, 2007.
- Невиль А. М. *Свойства бетона*. М.: Стройиздат, 1972.
- Пашенко А. А. и др. *Теория цемента*. Киев : Будивельник, 1991.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЕТРОВЫХ НАГРУЗОК ПРИ ОБТЕКАНИИ ВОЗДУШНЫМ ПОТОКОМ СИСТЕМЫ МОДЕЛЕЙ ЗДАНИЙ ПРИ ВАРИАЦИИ ИХ РАСПОЛОЖЕНИЯ

А. И. Гныря¹, С. В. Коробков¹, А. А. Кошин¹, В. И. Терехов²

¹Архитектурно-строительный университет, Томск

²Институт теплофизики имени С. С. Кутателадзе СО РАН, Новосибирск

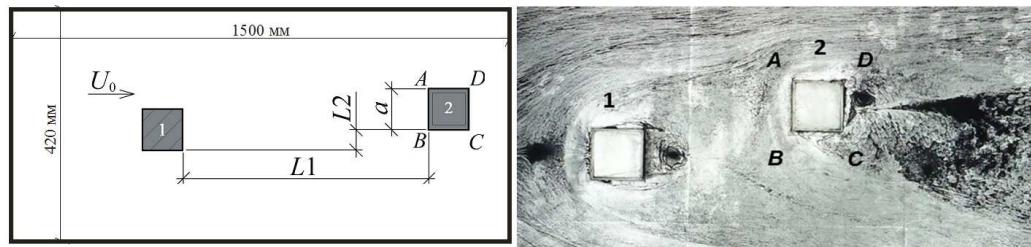
Строительство в климатических условиях Сибири, районов Крайнего Севера и Арктики является одним из приоритетных направлений при развитии этих регионов. Опыт эксплуатации построенных в этих регионах зданий свидетельствует о том, что многие виды внешних воздействий на них существенно отличаются от природных влияний, характерных для умеренного климата центральных районов европейской части России. Целью данных исследований является комплексные теоретические и экспериментальные исследования процессов внешней аэrodинамики зданий и их групп с целью минимизации тепловых потерь и обеспечения безопасности и комфорта городской среды применительно к экстремальным климатическим условиям Сибири, Крайнего Севера и Арктики.

Экспериментальная установка состояла из аэродинамической трубы с рабочей камерой, сечением 0.4×0.4 м и длиной 1,2 м, экспериментальных моделей и измерительной аппаратуры (см. рисунок).

Настоящая работа, являющаяся развитием исследований [1,2], посвящена экспериментальному изучению аэродинамики и теплообмена двух квадратных призм, расположенных на различных расстояниях друг от друга ($L/a = 0-6$) и вариации

смещения в поперечном направлении ($L_2/a = 1-3$), где $a = 50$ мм – размер стороны призмы.

В опытах измерялось распределение коэффициентов давления на каждой стороне призмы, а также выполнялась сажемасляная визуализация на дне канала (рис.) и его боковых гранях. Более подробно техника эксперимента изложена в работе авторов [1,2]. Число Рейнольдса в опытах изменялось в диапазоне $Re = 2 * 10^4 - 4.25 * 10^4$.



Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта №18-08-01025).

ЛИТЕРАТУРА

- Кошин А. А. *Анализ динамического воздействия воздушного потока на tandem моделей высотных зданий*. М.: Наука, 1966.
- Кошин А. А., Коробков С. В., Гныря А. И., Терехов В. И. *Моделирование вихревой структуры и ветровых нагрузок при нелинейном расположении двух квадратных призм*. 31 Сибирский теплофизический семинар, посвященный 100-летию со дня рождения академика С. С. Катутеладзе: сборник докл. Всеросс. конф. 2014. С. 78–84.

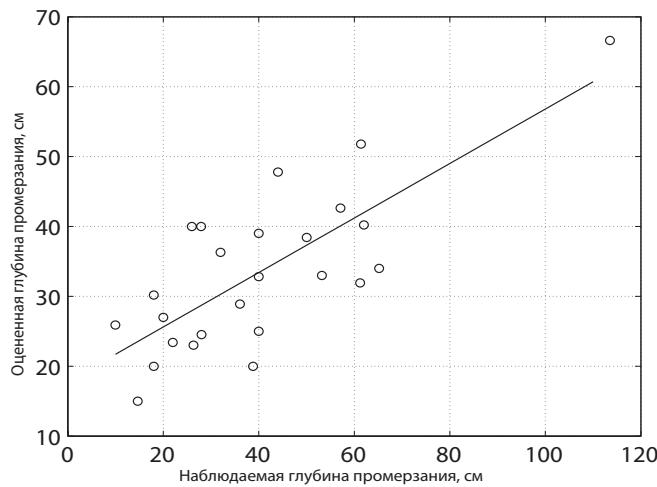
МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ГЛУБИНЫ ПРОМЕРЗАНИЯ ГРУНТА НА ОСНОВЕ ДАННЫХ О ТЕМПЕРАТУРЕ ЗИМНЕГО СЕЗОНА И РЕЖИМЕ СНЕГОНАКОПЛЕНИЯ

В. Н. Голубев, Д. М. Фролов

Географический факультет Московского Государственного Университета им. М. В. Ломоносова

В работе представлено развитие методов оценки глубины сезонного промерзания В.А. Кудрявцева [3], особенно методики [1] В. Т. Балобаева, базирующейся на приближенном решении дифференциальных уравнений задачи промерзания-оттаивания горных пород.

Оценка глубины сезонного промерзания произведена для метеостанции Сыктывкара для зимних сезонов с 1991 по 2015. Оценка проведена по расчетной схеме, основанной только на сезонных значениях температуры воздуха и толщины снежного покрова. Сравнение оцененных значений глубины промерзания с наблюдаемыми дает значение корреляции 0,77.



Расчетная схема учитывает намерзание грунта снизу на массиве мерзлого грунта, покрытого снегом в зимний период на основе данных о ежедневной температуре воздуха и толщине снежного покрова. Уравнение теплового баланса записывалось как $F_1 = cLV + F_2$, где F_1 — отток тепла через снежный покров и замёрзший грунт от фронта промерзания ($\text{Вт}/\text{м}^2$); cLV — расход тепла на фазовый переход, c — влагосодержание грунта ($1\text{-}4 \text{ кг}/\text{см}\cdot\text{м}^2$), (последнее значение соответствует полному заполнению пор водой у легкой глины с плотностью $2000 \text{ кг}/\text{м}^3$ и коэффициентом пористости $0,617$ [2]); L — энергия фазового перехода ($335 \text{ кДж}/\text{кг}$), V — скорость движения фронта промерзания ($\text{см}/\text{с}$); F_2 — отток тепла на охлаждение талого грунта перед фронтом промерзания ($\text{Вт}/\text{м}^2$).

Тепловой поток выражался по закону Фурье через градиент температуры и теплопроводность как $F = \lambda(\text{grad}T)$, а теплопроводность и тепловой поток через комбинацию из двух сред (снег и мерзлый грунт) согласно данным справочника [4] может быть выражена как:

$$F_1 = \lambda \frac{\Delta T}{\Delta x} = \frac{\Delta T}{\frac{\Delta x_s}{\lambda_s} + \frac{\Delta x_{fg}}{\lambda_{fg}}} = \frac{T_{air}}{h_s + l_{fg}}, \quad F_2 = \lambda_{fg} \frac{\Delta T}{\Delta x} = \lambda_{fg} \frac{T_0}{10 - l_{fg}}$$

Здесь T_{air} — температура воздуха, h_s и l_{fg} — толщина снега и глубина промерзания, а λ_s и λ_{fg} — теплопроводность снега и мерзлого грунта. Предполагается, что на глубине 10 м в грунте находится точка нулевых годовых колебаний температуры T_0 со значением около 3°C и на основе этого вычисляется поток вглубь F_2 .

Вычисления производились с шагом в один день. На первый момент предполагалось, что толщина мерзлого грунта l_{fg} равна 0,5 см. На каждом шаге по времени (каждый день) вычислялась (рассчитывалась) скорость промерзания V и значение толщины мерзлого грунта l_{fg} для следующего дня (шага по времени). Согласно [5] средняя теплопроводность снега может быть взята как $0,18 \text{ Вт}/\text{м}^\circ\text{C}$, а согласно [2] средняя теплопроводность талого и мерзлого глинистого грунта может быть взята как $1,5$ и $1,8 \text{ Вт}/\text{м}^\circ\text{C}$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Балобаев В. А. *Геотермия мерзлой зоны литосферы Севера Азии*. Новосибирск: Наука, 1991.
2. *Грунтоведение*. Под ред. Трофимов В. Т. М.: Изд-во МГУ, Наука, 2005.
3. Кудрявцев В. А. *Температура верхних горизонтов вечномерзлой толщи в пределах СССР*. М.: Энергия, 1977.
4. Михеев М. А. *Основы теплопередачи*. Изд. 2-е, М. А. Михеев, И. М. Михеева. М.: Энергия, 1977.
5. Павлов А. В. *Теплофизика ландшафтов*. Новосибирск: Наука, 1979.

МОДЕЛЬ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ КАВИТАЦИОННОЙ ДЕПОЛИМЕРИЗАЦИИ НЕФТИ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ РЕЖИМОВ И УСЛОВИЙ ВОЗДЕЙСТВИЯ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ СНИЖЕНИЕ ВЯЗКОСТИ В УСЛОВИЯХ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР

P. H. Голых

Бийский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВО «АлтГТУ им. И.И. Ползунова»

Ультразвуковая кавитационная деполимеризация (воздействие кавитацией, создаваемых ультразвуковыми колебаниями) является одной из перспективных технологий снижения вязкости нефти в условиях низких температур, которая не требует расходных материалов. Для выявления оптимальных режимов (по интенсивности) и условий (по геометрии технологического объёма) ультразвуковой кавитационной деполимеризации предложена модель воздействия кавитационных ударных волн на макромолекулы нефти. Модель включает подмодель формирования кавитационной области в нефти, позволяющую выявить распределение кавитационных зон в технологическом объёме по режимам развития кавитации [1], и подмодель разрушения макромолекул нефти, позволяющую выявить зависимость вязкости нефти от времени и параметров ультразвукового воздействия в соответствии с полученным кинетическим уравнением [2]:

$$\frac{\partial c_i}{\partial t} = \sum_{j>i, k>i} (k+j-2) \beta_{jk} c_j c_k + 2 \sum_{j>i, k\leq i} (k-1) \beta_{jk} c_j c_k - \sum_l (i-1) (l-1) \beta_{il} c_i c_l;$$

где c_i – счётная концентрация макромолекул с числом мономерных звеньев i , м^{-3} ; β_{ij} – вероятность одновременного разрушения макромолекулы с числом мономерных звеньев i и её соударения с молекулой j , $\text{м}^3/\text{с}$; t – время пребывания нефтяной массы в технологическом объёме, с.

Модель позволила установить, что наиболее эффективная обработка нефти происходит в проточных технологических объёмах с кольцевыми отражателями, обеспечивающими увеличение объёма зоны развитой кавитации до 3-х раз, и ультразвуковая кавитационная деполимеризация позволяет снизить вязкость нефти более чем

в 4 раза. Это существенно снизит энергозатраты на её транспортировку в условиях Крайнего Севера.

Работа выполнена при финансовой поддержке Гранта Президента РФ № МК-2813.2018.8.

ЛИТЕРАТУРА

1. Khmelev V.N., Golykh R.N., Shalunov A.V., Khmelev S.S., Karzakova K.A. *Determination of ultrasonic effect mode providing formation of cavitation area in high-viscous and non-newtonian liquids*. 15th International Conference of Young Specialists on Micro|Nanotechnologies and Electron Devices. EDM'2014: Conference Proceedings. 2014. pp. 203–207.
2. Golykh R.N. *The model of ultrasonic cavitation depolymerization*. American Journal of Engineering Research. 2018. V. 7. Iss. 1. pp. 114–121.

КРУПНОМАСШТАБНЫЕ СДВИГОВЫЕ ПРОТИВОТЕЧЕНИЯ ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ВЯЗКОЙ НЕСЖИМАЕМОЙ ЖИДКОСТИ, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИЕСЯ ДВУМЯ ПАРАМЕТРАМИ КОРИОЛИСА

A. B. Горшков, E. Ю. Просвиряков

*Институт машиноведения УрО РАН, Екатеринбург
Уральский федеральный университет, Екатеринбург*

Известно, что описание крупномасштабных течений океана базируется на использовании уравнений Навье-Стокса, записанных во вращающейся системе координат. При выводе определяющих соотношений для вязкой несжимаемой жидкости наиболее часто используется только одна компонента вектора угловой скорости — первый параметр Кориолиса. Для традиционного представления планетарной завихренности проведено большое число исследования аналитическими и вычислительными методами. В частности, построено несколько важных точных решений для сдвиговых изотермических и конвективных течений вязкой несжимаемой жидкости [1]. Таким образом, существенным пробелом в теоретическом исследовании крупномасштабных течений является построение точных решений для описания переноса импульса в вязкой несжимаемой жидкости. В данном докладе сделана попытка частично восполнить нехватку такого рода точных решений. Рассмотрено несколько типов точных решений, позволяющих исследования противотечения в океане. Особый акцент сделан на экваториальной зоне. Проведено сравнение с известными ранее точными решениями и численными результатами, полученными при использовании только одного параметра Кориолиса.

Работа выполнена в рамках комплексной программы УрО РАН: “Математические основы вычислительных и информационных технологий”, проект № 18-1-1-5 “Разработка математических моделей нелинейных процессов фильтрации и конвекции в

вязких средах” (регистрационный номер ФАНО: 0391-2018-0009; номер государственной регистрации: ААА-А18-118020790146-7).

ЛИТЕРАТУРА

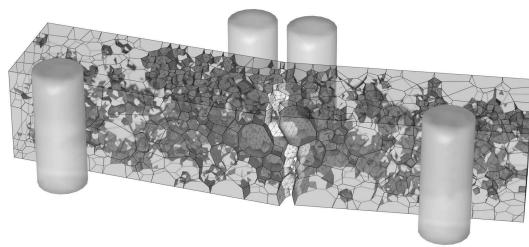
1. Аристов С. Н., Шварц К. Г. *Адvectionное течение во вращающейся жидкости плёнке*. ПМТФ. 2016. Т. 57. № 1. С. 216—223.
2. Горшков А. В., Просвиряков Е. Ю. *Конвективное слоистое течение Экмана вязкой несжимаемой жидкости*. Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2018. Т. 54. № 2. С. 213—220.

ПРИМЕНЕНИЕ МОДЕЛИ СВЯЗАННЫХ ЗОН (CZM) ДЛЯ ПРОЦЕССА РАЗРУШЕНИЯ ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО ЛЬДА ПОД НАПРЯЖЕНИЕМ

И. И. Грибанов, Р. С. Тэйлор, Р. Саррасино

Мемориальный Университет Ньюфаундленда, Сент-Джонс

Метод связанных зон (CZM) применяется для моделирования поликристаллических материалов. Например, билинейная модель CZM встроена в программные пакеты ANSYS и ABAQUS. Формулировка Парк-Паулино-Роеслер (PPR) [1] отличается возможностью настроить 8 различных параметров для соотношения между контактным напряжением и зазором, а также различает зазор по нормали и по касательной. Такая модель подходит для моделирования чистого поликристаллического льда в определенной области значений температуры, напряжения и скорости деформации. Отдельные зерна моделируются как деформируемые и соединенные через связанные зоны [2].



Метод конечных элементов с неявным интегрированием реализован в исходном коде на C# и CUDA. Сборка разреженной матрицы происходит параллельно, а линейная система решается библиотекой Intel MKL, что позволяет моделировать объекты с большим числом зерен, чем в ANSYS или ABAQUS.

Были установлены параметры CZM, при которых результаты моделирования хорошо соотносились с экспериментами. Помимо кривой напряжения-деформации, сохраняется зависимость предела прочности образца от размера зерен, т.е. соотношение Холла-Петча:

$$\sigma_y = \sigma_0 + \frac{k_y}{\sqrt{d}},$$

где σ_y – некоторое напряжение трения, которое необходимо для скольжения дислокаций в монокристалле, k_y – индивидуальная для каждого материала константа, и d – средний размер зерна.

Работа выполнена при финансовой поддержке Совета по Естественным Наукам и Инженерным Исследованиям Канады (NSERC).

ЛИТЕРАТУРА

1. Park K., Paulino G. H., Roesler J. R. *A unified potential-based cohesive model of mixed-mode fracture*. J Mech Phys Solids. 2009. V. 57. № 6. pp. 891–908.
2. Gribanov I. I., Taylor R. S., Sarracino R. *Cohesive zone micromechanical model for compressive and tensile failure of polycrystalline ice*. Eng Frac Mech. 2018. V. 196. pp. 142–156.

ВОЛНЫ СЖАТИЯ В ПОРИСТОЙ СРЕДЕ, СОДЕРЖАЩЕЙ ГАЗОВЫЙ ГИДРАТ

А. А. Губайдуллин^{1,2}, О. Ю. Болдырева¹, Д. Н. Дудко¹

¹ Тюменский филиал Института теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН

² Тюменский государственный университет

Численно исследованы волновые процессы в пористой среде, содержащей газовый гидрат. Для исследования используется двухскоростная модель пористой среды. В исходном состоянии в поровом пространстве также содержится вода и гидратообразующий газ в виде пузырьков. Гидрат представлен отдельными включениями, их размер, форма и количество в процессе расчета не отслеживаются. Скорость жидкости, газа и гидрата совпадают. Нелинейность колебаний пузырьков учтена в уравнении состояния газа и уравнении Рэлея - Ламба. Вблизи линии фазового равновесия “газ + вода – газовый гидрат” возможны фазовые переходы.

Исследовано прохождение волн сжатия ступенчатого профиля из жидкости в гидратосодержащую пористую среду. Изучено влияние параметров среды и интенсивности падающей волны на эволюцию волн в указанной пористой среде.

При входлении в пористую среду начальный импульс разделяется на быструю (деформационную) и медленную (фильтрационную) волны. В медленной волне наблюдаются затухающие колебания, связанные с пульсациями пузырьков. Увеличение начального равновесного давления в среде приводит к росту скоростей деформационной и фильтрационной волн. При неизменном начальном объемном содержании газа в поровом пространстве увеличение начального содержания гидрата приводит к небольшому увеличению скоростей и амплитуд быстрой и медленной волн. При неизменном начальном объемном содержании гидрата увеличение содержания газа приводит к заметному снижению скорости медленной волны и уменьшению амплитуд как быстрой, так и медленной волн.

Установлено, что учет процессов образования/разложения газового гидрата в пористой среде на рассматриваемых временных интервалах не оказывает заметного влияния на характер распространения волн.

РЕКОНСТРУКЦИЯ ПРОЦЕССОВ НАФТИДОГЕНЕЗА И ОБРАЗОВАНИЯ СКОПЛЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ НА ТЕРРИТОРИИ ГЫДАНСКОГО ПОЛУОСТРОВА И СМЕЖНЫХ АКВАТОРИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДИКИ БАССЕЙНОВОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

A. A. Дешин, П. И. Сафонов, Л. М. Бурштейн

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН,
Новосибирск

Работа продолжает цикл исследований, которые проводились в ИНГГ СО РАН [1, 2].

Территория исследования находится в пределах Гыданской, восточной части Ямальской, западной части Енисей-Хатангской нефтегазоносной области, а также смежных акваторий.

Объектами исследований являлись потенциально нефтегазопроизводящие породы юры и мела распространенные на территории исследования [2].

Моделирование выполнялось от одномерных моделей скважин [1] до комплексной трехмерной модели всей территории. Эта модель отражает характер осадконакопления, толщины свит, масштабы размывов и литологию отложений. На основании кинетических характеристик органического вещества [1] был реконструирован процесс генерации жидких и газообразных углеводородов.

После восстановления истории нафтидогенеза была реконструирована миграция и аккумуляция углеводородов на территории исследования. После калибровки параметров миграции модельные запасы углеводородов соответствуют фактическим запасам на месторождениях. Таким образом была построена трехмерная модель, которая позволяет сделать прогноз нефтегазоносности по всей территории исследования с указанием новых ловушек и месторождений.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 18-35-00436 мол-а).

ЛИТЕРАТУРА

1. Дешин А. А., Сафонов П. И., Бурштейн Л. М. *Оценка времени реализации главной фазы нефтеобразования в средне-верхненорских отложениях севера Западной Сибири*. Геология нефти и газа. 2017. № 4. С. 33–44.
2. Конторович А. Э., Бурштейн Л. М., Малышев Н. А., Сафонов П. И., Гуськов С. А., Ершов С. В., Казаненков В. А., Ким Н. С., Конторович В. А., Костырева Е. А., Меленевский В. Н., Лившиц В. Р., Поляков А. А., Скворцов М. Б. *Историко-геологическое моделирование процессов нафтидогенеза в мезозойско-кайнозойском осадочном бассейне Карского моря*. Геология и геофизика. 2013. Т. 54. № 8. С. 1179–1226.

МЕХАНИКА ДВИЖЕНИЯ КРУПНОТОННАЖНОГО СУДНА ПО УЗКОМУ КАНАЛУ

А. А. Добродеев, Н. Ю. Клементьев, К. Е. Сазонов

Крыловский государственный научный центр, Санкт-Петербург

В последнее время крупнотоннажные суда все чаще используются для выполнения транспортных операций в арктических морях. Недавно начали эксплуатироваться новые крупнотоннажные газовозы типа “Кристофф де Маржери”. Ширина таких судов существенно превышает ширину любого из существующих или строящихся ледоколов. При проводке крупнотоннажного судна одним ледоколом оно вынуждено двигаться по “узкому” ледяному каналу, доламывая своим корпусом ледяной покров.

Такой сценарий движения крупнотоннажного судна неоднократно рассматривался в теоретических работах, посвященных арктическому мореплаванию. При этом обычно предполагалось, что диаметральная плоскость судна совпадает с осью канала, а взаимодействие бортов с ледяным покровом симметрично относительно диаметральной плоскости. Однако результаты натурных и модельных испытаний с самоходными моделями показали, что движение крупнотоннажного судна по ледяному каналу не обладает указанной выше симметрией. Судно располагается в канале таким образом, чтобы один его борт разрушал ледяной покров, а второй только терялся о кромку канала.

В докладе с помощью простых математических моделей, применяемых в морской ледотехнике, исследуются устойчивость движения крупнотоннажного судна в канале, а также определяется его ледовое сопротивление. Сопоставление полученных результатов с данными расчетов по ранее применявшейся симметричной теоретической схеме показывает, что реализуемый в реальных условиях характер движения позволяет снизить ледовое сопротивление.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЕНЕРАЦИИ УГЛЕВОДОРОДОВ В БАЖЕНОВСКОЙ СВИТЕ СКВ. ТЮМЕНСКАЯ СГ-6

К. В. Долженко, П. И. Сафонов, А. Н. Фомин, В. Н. Меленевский

*Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН,
Новосибирск*

Тюменская сверхглубокая скважина (СГ-6) пробурена (забой 7502 м) в южной части Большегечетской мегасинеклизы (80 км юго-восточнее г. Н. Уренгой). По материалам исследования керна скважины опубликовано множество работ о геохимических особенностях органического вещества (ОВ) баженовской свиты [1] и результатов моделирования [2], представляющих большой интерес для оценки углеводородного потенциала этого богатейшего района Западной Сибири. В настоящем исследовании приводятся обобщение старых и новых геохимических данных по разрезу скважины и результаты моделирования истории генерации углеводородов (УВ) в баженовской

свите. Уровень зрелости ОВ баженовской свиты (глубины 3782-3845 м) отвечает середине градации MK₁² (R_{vt}^0 - 0,72-0,85 %), что соответствует главной зоне нефтеобразования (ГЗН). Максимальные значения органического углерода (Сорг) в разрезе скважины установлены преимущественно в баженовской свите (среднее по аргиллитам 5,03 %). В связи с этим, в породах отмечаются и повышенные значения водородного индекса (HI), которые варьируют в пределах 117-328 мгУВ/гСорг, среднее 235 мгУВ/гСорг.

Поскольку в свите присутствует органическое вещество аквагенной и террагенной природы [3], то было проведено ее разделение на генерирующие интервалы. Для этого использовались каротаж и точечные геохимические анализы. Плотность генерации углеводородов вблизи скважины составила суммарно 1571 тыс. т/км² для нефти и 379 млн м³/км² для газа. Наибольшее количество УВ было сгенерировано керогеном II типа - 74 % жидких и 62 % газообразных. Максимальная интенсивность генерации УВ была достигнута в период 111-55 млн лет назад (ранний альб - ранний эоцен). Полученные результаты были сравнены с моделью, где всей свите был присвоен II-тип (усредненные геохимические параметры). В случае с учетом сложного строения баженовской свиты объемы генерации были в 2,9 раз меньше для нефти и в 2,4 раза больше для газа, что напрямую отражает смещение фазового состава УВ в пользу газообразных, благодаря террагенной составляющей. По мнению авторов, такой подход позволяет более точно прогнозировать генерацию, миграцию и аккумуляцию залежей УВ при работе с таким сложным геологическим объектом, как баженовская свита.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 18-35-00337).

ЛИТЕРАТУРА

1. Тюменская сверхглубокая скважина (интервал 0-7502 м). Результаты бурения и исследования: Сборник докл. Научное бурение в России. Пермь: КамНИИКИГС, 1996.
2. Конторович А. Э., Бурштейн Л. М., Малышев Н. А. и др. Историко-геологическое моделирование процессов нефтедогенеза в мезозойско-кайнозойском осадочном бассейне Карского моря (Бассейновое моделирование). Геология и геофизика. 2013. Т. 54. № 8. С. 1179–1226.
3. Конторович А. Э., Меленевский В. Н., Занин Ю. Н. и др. Литология, органическая геохимия и условия формирования основных типов пород баженовской свиты (Западная Сибирь). Геология и геофизика. 1998. Т. 39. № 11. С. 1477–1491.

ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ АКУСТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПЕСЧАНЫХ ОБРАЗЦОВ, СОДЕРЖАЩИХ ЛЕД И ГИДРАТ МЕТАНА

Г. А. Дугаров¹, А. А. Дучков^{1,2}, М. И. Фокин^{1,2}

¹*Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН,
Новосибирск*

²*Новосибирский государственный университет*

Природные газогидраты представляют собой перспективный источник природного газа, ввиду содержания больших объемов свободного газа в небольших объемах газогидратных соединений. При нарушении термобарических условий стабильности газогидратов они разлагаются, что является основной причиной сложности изучения реальных гидратосодержащих образцов. В мировой практике распространено изучение физических свойств искусственных гидратосодержащих образцов, сформированных в специализированных установках. В данной работе рассматриваются результаты экспериментальных исследований акустических свойств песчаных образцов, содержащих лед и гидрат метана, проведенных на подобной установке [1].

Ранее уже была проведена большая серия экспериментов на песчаных образцах, содержащих лед, гидрат метана и тетрагидрофурана [2]. По результатам новой серии экспериментов на песчаных образцах, содержащих лед и гидрат метана, была обнаружена температурная зависимость скоростей продольных и поперечных волн. Также при длительном выдерживании температуры в области стабильности гидрата метана для экспериментов на гидратосодержащих образцах, после стадии наработки гидрата, сопровождающейся ростом скоростей продольных и поперечных волн, наблюдается медленное падение скоростей. За две недели выдерживания образца при постоянных термобарических условиях значения скоростей снизились практически на 10%. Подобное падение скоростей наблюдается и в экспериментах с песчаными образцами, содержащими лед. Данное явление может быть объяснено частичной перекристаллизацией гидрата или льда с контактом зерен песка в свободное поровое пространство, но это предположение требует дополнительных исследований.

Работа выполнена в рамках Комплексной программы фундаментальных исследований СО РАН “Междисциплинарные интеграционные исследования”.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дучков А. Д., Голиков Н. А., Дучков А. А., Манаков А. Ю., Пермяков М. Е., Дробчик А. Н. *Аппаратура для изучения акустических свойств гидратосодержащих пород в лабораторных условиях*. Сейсмические приборы. 2015. Т. 51. № 2. С. 44–55.
2. Дучков А. Д., Дучков А. А., Дугаров Г. А., Дробчик А. Н. *Скорости ультразвуковых волн в песчаных образцах, содержащих воду, лед или гидраты метана и тетрагидрофурана (лабораторные измерения)*. ДАН. 2018. Т. 478. № 1. С. 94–99.

ДВУХСЛОЙНЫЙ КОМПОЗИЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ НА ОСНОВЕ ЭЛАСТОМЕРА И СВЕРХВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНОГО ПОЛИЭТИЛЕНА

A. A. Дьяконов, Н. В. Шадринов, М. Д. Соколова, А. А. Охлопкова

Институт проблем нефти и газа СО РАН, Якутск
Северо-Восточный федеральный университет, Якутск

В настоящее время, несмотря на синтез большого количества новых каучуков и полимеров, каждый из них в отдельности не может в полной мере удовлетворить тем разнообразным требованиям, которые предъявляются к полимерным материалам, применяющимся в различных областях промышленности. Перспективным направлением разработки полимерных материалов является создание материалов на основе комбинации полимерных и эластомерных материалов. На основе комбинированных полимерных материалов (каучук/полимер) можно получать материалы, сочетающие в себе не только свойства отдельных полимеров, но и добиваться того разнообразия свойств, которого невозможно достичь при использовании одного полимера или эластомера. В работе представлена разработка двухслойного композиционного материала [1] на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ) с одной стороны и эластомера с другой стороны (рис.) [2].

Исследовано влияние технологии изготовления двухслойных композиционных материалов на адгезионное взаимодействие между СВМПЭ и эластомерами на основе различных каучуков. Показана зависимость прочности адгезионного взаимодействия между материалами от содержания ускорителя вулканизации, а также от активности технического углерода в резиновой смеси.

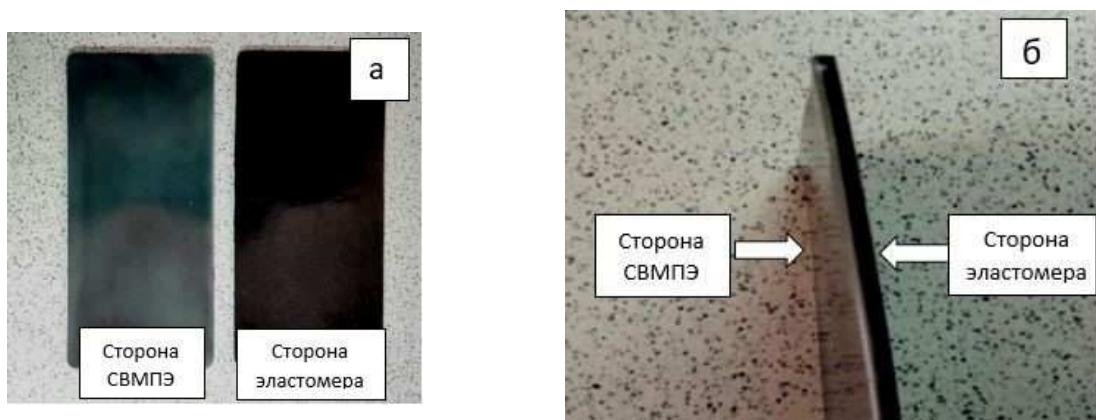


Рис. 4: Двухслойный материал на основе эластомера и СВМПЭ: а) вид сверху б) вид сбоку

Работа выполнена при финансовой поддержке Госзадания МОН РФ № 11.1557/4.6, № 11.7221.2017/6.7 и Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 16-33-60070).

ЛИТЕРАТУРА

- Соколова М.Д., Дьяконов А.А., Попов С.Н., Шадринов Н.В., Морова Л.Я., Охлопкова А.А., Слепцова С.А. *Патент РФ № 2615416 Поверхностно-модифицированный композиционный материал*. бюл. №10 от 04.04.2017.
- Dyakonov A. A., Sokolova M. D., Shadrinov N. V., Sleptsova S. A. *Application of protective coatings from ultrahigh-molecular weight polyethylene to butadiene-nitrile rubber*. AIP Conference Proceedings. 2017. V. 1909. 020037.

ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ЭФФЕКТЫ В ГЛУБОКОВОДНОЙ ГАЗОГИДРАТНОЙ ПЕНЕ

A. В. Егоров¹, Р. И. Нигматулин¹, А. Н. Рожков²

¹*Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН, Москва*

²*Институт проблем механики им. А. Ю. Ишлинского РАН, Москва*

Исследованы процессы тепломассообмена в газогидратной пене в процессе её образования из глубоководных пузырей метана в зоне стабильности газовых гидратов (ЗСГГ) озера Байкал, а также в ходе последующей транспортировки пены в негерметичном контейнере на поверхность озера. Пена образована в результате коалесценции пузырей метана, собираемых ловушкой/контейнером в местах выходов пузырей со дна. На глубине 1400 м все пузыри, которые попали в ловушку, трансформировались в твердую гидратную пену при некоторой вариации температуры за счёт выделении тепла при гидратообразовании. По окончанию сбора пузырей ловушка с пеной поднята со дна озера на поверхность. Сначала подъём проходил в пределах ЗСГГ, а затем выше ЗСГГ. Во время подъёма в ЗСГГ со скоростью около 0.375 м/с в ловушке наблюдались две особенности. Первой из них является вытеснение воды из ловушки газом, который истекал из образца пены при падении гидростатического давления окружающей среды. Установлено, что расширение газа следует закону Бойля-Мариотта, в котором первоначальный объём газа равен объему образца пены. Вторая особенность — непрерывное снижение температуры в пене до отрицательного значения, наблюдаемое в интервале глубин 1400 - 750 метров. Выше глубины 750 м уменьшение температуры сменилось небольшим ростом. Однако, как только ловушка поднялась выше верхней границы ЗСГГ, началось резкое снижение температуры. Упав до отрицательного значения -0.5 °C на глубине 250 м, температура несколько возросла до -0.25 °C, оставаясь практически постоянной на интервале от 200 м до 0 м. Снижение температуры во время подъёма до глубины 750 метров связано с охлаждением газа в результате совершения работы расширяющимся газом против сил гидростатического давления. Падение температуры на границе ЗСГГ связано с поглощением тепла при начавшемся разложении гидрата. Поддержание минусовой температуры пены на постоянном уровне -0.25 °C при движении выше ЗСГГ связано с замедлением разложения гидрата за счет замерзания выделяющейся при его разложении воды и является проявлением эффекта самоконсервации гидрата.

Работа выполнена при поддержки Программы фундаментальных исследований РАН № 1.2.49.

РАЗРАБОТКА КОНЦЕПТУАЛЬНЫХ ВАРИАНТОВ ЛЕДОСТОЙКИХ ПЛАВУЧИХ ВЕТРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

В. В. Елистратов, А. С. Большов, А. А. Панфилов, С. А. Фролов

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

Развитие оффшорной морской ветроэнергетики один из современных трендов развития энергообеспечения. В России энергетика традиционного базируется на использовании крупных гидростанций, атомных и тепловых электростанций. Однако освоение удаленных от центральной части страны северных территорий требует применения мобильных источников энергии, которые могут быть быстро доставлены в необходимое место и начать генерировать электроэнергию. Морские плавучие ветроэлектростанции (МПВЭС) могут успешно решить эту задачу.

В статье рассматриваются концептуальные технические решения для морской плавучей электростанции, использующей энергию ветра и предназначеннной для энергообеспечения прибрежных и островных территорий российской Арктики. Представлен анализ современных ветроэнергетических установок (ВЭУ) различного типа для арктических МПВЭС морского базирования, выполнены оценки ветрового потенциала прибрежных и морских территорий России. Классифицированы и выделены основные нагрузки от ветровых, волновых и ледовых воздействий на МПВС в арктических условиях. Проанализированы варианты оснований МПВЭС.

В статье приводятся результаты численного моделирования поведения концептуальных вариантов морских ветроэнергетических станций: одноколонной МПВЭС с горизонтально осевой ветровой турбиной размещенной на плавучем ледостойком основании типа TLP и трехколонной МПВЭС с тремя вертикально осевыми ветровыми турбинами расположенными на плавучем ледостойком основании полупогруженного типа. На основе требований российских нормативных документов оценивается безопасность эксплуатации концептуальных вариантов МПВЭС в условиях шторма и воздействия полей ровного льда. Приводится оценка прочности опорного основания рассматриваемых вариантов морских ветроэнергетических станций для арктического исполнения.

ИЗУЧЕНИЕ РЕОЛОГИЧЕСКИХ И ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ ЛЬДА В УСЛОВИЯХ ИНТЕНСИВНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ

В. П. Епифанов

Институт проблем механики им. А. Ю. Ишлинского РАН, Москва

Цель настоящей работы состоит в изучении влияния импульсов напряжений на формирование промежуточного слоя во льду при ударе и сдвиге в условиях гидростатического сжатия. Основой для осуществления исследований послужили известные

результаты изучения процессов деформирования тел со сложной реологией [1], модельные эксперименты по определению ледового сопротивления судна [2], а также создание научных основ физики сверхпластичных материалов [3].

Принципиально новым в постановке задачи является количественное определение деформационных изменений структуры льда непосредственно в процессе пластического удара (задача Герца в пластической постановке), а также исследование структуры промежуточного слоя в матрице высокого давления с конфузором (аналог сопла Лаваля). Усиление пластичности льда достигалось наложением упругих волн, создаваемых параболической рабочей поверхностью пресс-штемпеля в условиях компрессионного сжатия (кумулятивный эффект). Для верификации использована визуализация обтекания льдом препятствий и распределения скоростей льда в круглом канале.

Впервые получены количественные данные о деформационных изменениях структуры льда непосредственно в процессе механических испытаний в широком диапазоне термодинамических условий и при различных видах напряженного состояния. Разработан комплексный подход к исследованию деформационных изменений структуры и разрушения с помощью акустических методов. Определены физические пределы упругости и границы механизмов ползучести, трещиной дилатансии и хрупкого разрушения. Исследована кинетика трещинообразования в основных видах механических испытаний. Построены достаточно простые математические модели, в которых учитывается изменение структуры и которые позволяют прогнозировать поведение льда в широком интервале граничных условий. Полученные данные – результат имитации контактного разрушения льда на элементе конструкции (определение прочностных характеристик и построение прогностических закономерностей разрушения льда).

ЛИТЕРАТУРА

- Георгиевский Д. В. Шабайкин Р. Р. *Квазистатическое и динамическое сдавливание* В сб.: Мат моделирование и экспериментальная механика, Тверь, 2017. С. 56–63.
- Сazonov K. E. *Определение методов* Труды ЦНИИ им. Акад. А.Н. Крылова. 2016. В.92 (376). С. 93–108.
- Валиев Р. З. и др. *Использование интенсивных пластических деформаций для материалов* Известия РАН. МТТ. 2012. № 4. С. 109–122.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЛЕДОВЫХ НАГРУЗОК НА СВАИ В ЛЕДОВОМ БАССЕЙНЕ

Н. А. Есенина, А. А. Чижевский, Ю. С. Карасёв, Д. А. Савин

“23 ГМПИ - филиал АО “31 ГПИСС”, Санкт-Петербург

В статье представлены результаты экспериментов по нагружению льдом ряда из 5 металлических свай, каждая диаметром $d_{sv} = 203$ мм. Толщина металла $\Delta = 12$ мм. Сваи жестко связаны с основанием бассейна. Расстояние между сваями равно $3d_{sv}$,

высота приложения ледовой нагрузки $H = 3.5d_{sv}$ от уровня заделки свай. Нагрузки на сваи реализуются при взаимодействии свай с полем льда, которое принудительно с помощью специальных устройств надвигается на сваи. Лед в бассейне образуется путем замерзания пресной воды при естественных погодных условиях [1]. Для определения прочностных характеристик льда перед опытами из льдины кольцевым буром выбираются образцы и проводится их нагружение на прессе с измерениями нагрузок на образец и деформации (по методике ААНИИ). Испытания льда на прочность проводятся в тех же условиях, что и опыты со сваями. В процессе нагружения свай льдом измеряются перемещения каждой сваи во времени, оттарированные до начала опытов в усилия, скорости и перемещения льда, а также усилия, действующие на лед со стороны нагрузочных устройств. Приводятся результаты экспериментов, выполненных с полями льда толщиной $h_l = 0.13; 0.19; 0.21$ м. Дается анализ полученных в опытах зависимостей ледовых нагрузок от времени для каждой сваи.

ЛИТЕРАТУРА

1. СП 38.13330.2012 *Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов)*. Москва, 2012.

ВЛИЯНИЕ ФОРМЫ ПОГРУЖЕННОГО ТЕЛА ПРИ ПОДЛЕДНОМ ДВИЖЕНИИ НА ПАРАМЕТРЫ ГЕНЕРИРУЕМЫХ ИМ ВОЛН

В. Л. Земляк¹, В. М. Козин², Н. О. Баурин¹

¹Приамурский государственный университет имени Шолом-Алейхема, Биробиджан

²Институт машиноведения и металлургии ДВО РАН, Комсомольск-на-Амуре

Известно, что при движении погруженного тела под поверхностью льда в ледяном покрове возникает система изгибо-гравитационных волн (ИГВ), при определенной интенсивности которых можно добиться частичного либо полного разрушения льда. Предельная толщина льда, разрушаемого резонансными ИГВ, значительно превышает таковую при статическом проломе ледяного покрова в процессе всплытия подводного судна. Существует много теоретических работ, в которых погруженное тело моделируется различными способами [1, 2, 3, 4], анализируется влияние физико-механических свойств, глубины погружения и длины тела на напряженно-деформированное состояние ледяного покрова. Аналогичные работы экспериментального характера практически не встречаются. В работе выполнено экспериментальное исследование влияния формы погруженного тела (относительного удлинения, водоизмещения) и глубины его погружения при подледном движении на прогиб и длину генерируемых изгибо-гравитационных волн. Эксперименты проводились в опытном ледовом бассейне. Модель ледяного покрова приготавливалась путем намораживания льда заданной толщины естественным холодом. Для проведения экспериментов было изготовлено три модели в виде тел вращения различного диаметра

с возможностью изменения длины цилиндрической вставки. Для проведения опытов была спроектирована и изготовлена необходимая оснастка и сформирован измерительный комплекс для регистрации колебаний модельного льда. В процессе буксировки моделей определялась скорость движения и записывались профили взволнованной поверхности льда. Масштаб моделирования составил $\lambda_l = 1 - 120$. В ходе экспериментов были установлены зависимости параметров изгибо-гравитационных волн от рассматриваемых характеристик моделей. Установлен характер движения моделей под поверхностью льда при различном заглублении. С помощью предложенного критерия ледоразрушения выполнена оценка ледоразрушающей способности ИГВ. Определен характер разрушения льда изгибо-гравитационными волнами в зависимости от рассматриваемых параметров.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №16-19-10097).

ЛИТЕРАТУРА

- Хейсин Д. Е. *Динамика ледяного покрова*. Л.: Гидрометеоиздат. 1967, 216 с.
- Коробкин А. А., Костиков В. К., Макаренко Н. И. *Движение эллиптического цилиндра под ледовым покровом*. Вестник Новосибирского государственного университета. Серия: Математика, механика, информатика. 2012. Т. 12. № 4. С. 76–81.
- Стурова И. В. *Движение погруженной сферы в жидкости под ледяным покровом*. ПММ. 2012. Т. 76. № 3. С. 406–417.
- Pogorelova A. V., Kozin V. M., Zemlyak V. L. *Motion of a slender body in a fluid under a floating*. ЖАМТР. 2012. V. 53. No. 1. Pp. 27–37.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ И ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЛЕДЯНЫХ БАЛОК, УСИЛЕННЫХ ПОВЕРХНОСТНЫМ АРМИРОВАНИЕМ

В. Л. Земляк¹, В. М. Козин², А. С. Васильев¹, К. И. Ипатов¹

¹Приамурский государственный университет имени Шолом-Алейхема, Биробиджан

²Институт машиноведения и металлургии ДВО РАН, Комсомольск-на-Амуре

Известно, что на территории Российской Федерации, преимущественно в восточной ее части, в зимний период времени активно используются ледовые переправы. Если толщина ледяного покрова не достаточна для безопасной эксплуатации переправы, могут быть использованы традиционные методы повышения несущей способности льда [1], которые, однако, не всегда эффективны и могут сильно зависеть от различных внешних факторов. В связи с этим весьма актуальной становится задача повышения несущей способности льда альтернативными методами, например внедрением в лед армирующих элементов [2]. Достаточно перспективным может оказаться способ поверхностного армирования путем внедрения в относительно тонкий ледяной

покров толщиной 0,3-0,4 м стальных цельносварных каркасов. Целью работы являлось экспериментальное и численное исследование напряженно-деформированного состояния ледяных образцов, усиленных поверхностными армирующими каркасами. Результаты экспериментов по нагружению образцов, работающих в условиях чистого изгиба, сопоставлялись с результатами расчетов, выполненных с помощью численных методов с использованием расчетного комплекса ANSYS. Для выполнения модельных экспериментов была спроектирована и собрана универсальная нагружающая установка, которая состояла из силовой рамы, состоящей из стоек, станин, верхней и нижней балок, нагружающего устройства и измерительного модуля. Для армирования ледяных балок размерами $L \times B \times H = 2000 \times 200 \times 200$ мм использовались цельносварные каркасы из стальной арматуры с различным количеством продольных и поперечных связей. Численный расчет напряженно-деформированного состояния ледяных образцов выполнялся в программном комплексе ANSYS Workbench v15, с использованием модуля ANSYS Mechanical. В результате исследования получены результаты по влиянию схем армирования на предельную разрушающую нагрузку. Установлен характер формирования трещин в образцах и построены диаграммы зависимости прогиба балок от нагрузки. Численно определено напряженно-деформированное состояние ледяных образцов в любой момент их нагружения. Сопоставление полученных данных показало высокую сходимость полученных экспериментальных и численных результатов по прогибам балок.

Работа выполнена в рамках базовой части государственного задания Министерства образования и науки Российской Федерации 2017 - 2019 гг. (код проекта № 9.4934.2017/БЧ).

ЛИТЕРАТУРА

1. ОДН 218.010-98. Инструкция по проектированию, строительству и эксплуатации ледовых переправ.
2. Козин В. М., Видякин, А. В., Попенко Н. В. *Способ создания ледовой переправы*. Патент на изобретение РФ №2459900, Опубл. 27.08.2012, Бюл. №24.

ОСОБЕННОСТИ ГИДРАТООБРАЗОВАНИЯ В СИСТЕМАХ “ПРИРОДНЫЙ ГАЗ/АСФАЛЬТОСМОЛОПАРАФИНОВЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ/ВОДА”

И. К. Иванова^{1,2}, М. Е. Семенов², В. В. Корякина²

¹Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, Якутск

²Институт проблем нефти и газа СО РАН, Якутск

Тематика газогидратных исследований довольно обширная, но из всех направлений следует выделить борьбу с образованием комплексных пробок, состоящих из парафина и гидратов, которые образуются в скважинах при добыче нефти в регионах, характеризующихся низкими среднегодовыми температурами и наличием многолетнемерзлых пород. Поэтому, проектируя строительство и эксплуатацию

скважин, необходимо учитывать технологические регламенты для предупреждения и ликвидации гидратопарафиновых пробок, что требует проведения исследований, связанных с изучением кинетики образования/разложения гидратов в эмульсиях парафиновых отложений.

Таким образом, в настоящей работе приведены результаты кинетического анализа процессов кристаллизации и плавления гидратов, синтезированных в модельных системах “природный газ + вода” и “природный газ + отложения парафина + вода”. Парафиновые отложения были отобраны с поверхности насосно-компрессорных труб на Иреляхском газонефтяном месторождении (ГНМ), а в качестве газа – гидратообразователя использовался природный газ Средневилюйского месторождения. Выбор этого газа обусловлен близостью его состава к пластовым газам Иреляхского ГНМ. Образцы эмульсий парафина были получены путем механического смешивания АСПО с дистиллированной водой в массовом соотношении $H_2O/АСПО: 20/80, 40/60, 60/40$ и $80/20$ без добавления синтетических ПАВ. Синтез и разложение гидратов в исследуемых системах осуществлялись в калориметрической ячейке дифференциального сканирующего калориметра высокого давления DSC 204 HP Phoenix фирмы Netzsch (Германия). Для расчета кинетических параметров использовалось уравнение Аврами. На основании полученных данных рассчитаны константы скоростей, порядок реакций и периоды полупревращений процессов кристаллизации гидратсодержащей фазы и плавления гидратов, синтезированных в отложениях парафина и воды. Показано, что скорость кристаллизации гидратсодержащей фазы в объемной воде протекает на порядок быстрее по сравнению с кристаллизацией этой фазы в эмульсиях парафина. Установлено, что скорость разложения гидратопарафинов в два раза меньше по сравнению с гидратами, полученными в дистиллированной воде. Увеличение содержания воды в эмульсиях приводит к уменьшению степени превращения воды в гидрат. Прогноз образования гидратопарафинов показал, что существует риск их возникновения в газонефтяных скважинах Непско-Ботубинской антеклизы при обводненности отложений от 20 до 80% мас.

Работа выполнена при финансовой поддержке со стороны Минобрнауки России в рамках выполнения базовой части государственного задания проект 10.7697.2017/ВУ “Организация проведения научных исследований” и госзаказа ФАНО РФ №0377-2016-0003.

УЕДИНЕННЫЕ ВОЛНОВЫЕ ПАКЕТЫ НА ПОВЕРХНОСТИ РАЗДЕЛА ВОДА-ЛЕД

A. T. Ильичев

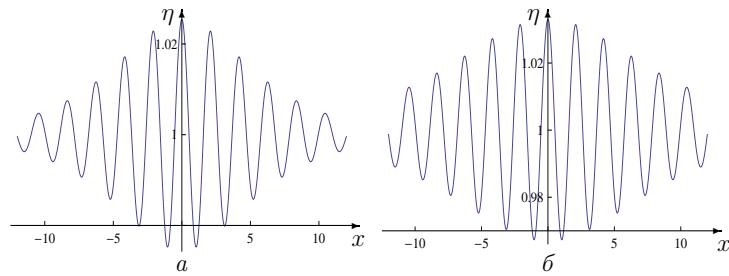
Математический институт им. В. А. Стеклова РАН, Москва

Изучаются плоскопараллельные потенциальные движения идеальной несжимаемой жидкости конечной глубины с горизонтальным дном. Жидкость занимает область

$$D = \{x \in \mathbb{R}; 0 < z < H + \eta(x)\},$$

которая имеет границу

$$\partial D = \partial D^+ \cup \partial D^- = \{x \in \mathbb{R}; z = H + \eta(x) \cup z = 0\}.$$



Поверхность раздела вода–лед задается уравнением $z = H + \eta(x)$, $x \in \mathbb{R}$.

Уравнения Эйлера идеальной несжимаемой жидкости конечной глубины подо льдом (лед моделируется упругой пластиной Киргхофа-Лява) приведены в [1, 2]. Эти уравнения имеют решения типа уединенных волновых пакетов, формы которых для различных значений физических параметров заданы на рисунке.

Нас будет интересовать соответствие теоретического описания пакетов уединенных волн с натурными наблюдениями. В теории для глубины $H = 100$ м, например, (модуль Юнга льда $E = 5 \cdot 10^9$ н/м², коэффициент Пуассона $\nu = 0.3$) имеют место следующие значения длин рассматриваемых волн l , их скоростей V и частот ω , указанные в таблице для различных значений толщины льда h .

h , м	V , м·сек ⁻¹	l , м	ω , сек ⁻¹
0.9	15.4	112.2	0.86
0.7	14.02	92.4	0.95
0.5	12.35	72.14	1.07
0.3	10.2	49.09	1.31

ЛИТЕРАТУРА

1. Ильичев А. Т. *Уединенные волны в моделях гидромеханики*. М.: Физматлит, 2003.
2. Ильичев А. Т. *Солитоноподобные структуры на поверхности раздела вода–лед*. УМН. 2015. Т. 70. № 6. С. 85–138.

ИЗУЧЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ ГИДРАТОВ В МИНЕРАЛИЗОВАННЫХ РАСТВОРАХ И КИНЕТИЧЕСКИХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ИХ РАЗЛОЖЕНИЯ

Л. П. Калачева, И. И. Рожин, А. С. Портнягин

Институт проблем нефти и газа СО РАН, Якутск

В условиях залегания нефтяных и газовых месторождений, которые приурочены к территории распространения многолетнемерзлых пород, низкая температура пласта способствует переходу углеводородных газов в гидратное состояние. Для месторождений Восточной Сибири характерна высокая минерализация пластовых вод, что затрудняет гидратообразование как в свободном объеме, так и в пористой среде. Однако, несмотря на высокую антигидратную активность пластовых вод, на этих месторождениях не исключается возможность гидратообразования в призабойной зоне пласта из-за аномально низких пластовых температур и в стволе скважины в результате теплового взаимодействия с окружающими мерзлыми горными породами.

Нефтяные и газовые месторождения востока Сибирской платформы расположены в пределах Лено-Тунгусской и Лено-Вилуйской нефтегазоносных провинций. Месторождения Лено-Тунгусской НГП характеризуются аномально низкой пластовой температурой (10°C) и давлением пласта (16 МПа), их пластовые воды относятся к хлоридно-кальциевому типу, а по виду преобладающего катиона либо к кальциевой, либо к натриевой подгруппе вод. Минерализация пластовых вод может достигать 400 г/л и выше. Для месторождений Лено-Вилуйской НГП аномальное высокое пластовое давление составляет 36,3 МПа, температуры достигают $+66^{\circ}\text{C}$. Минерализация пластовых вод составляет от 40 до 180 г/л, могут встречаться воды хлоридно-кальциевого и гидрокарбонатно-натриевого типов.

В экспериментах использовались водные растворы хлоридов кальция и натрия, гидрокарбоната натрия, имитирующих состав пластовых вод месторождений востока Сибирской платформы. Концентрации модельных растворов соответствовали общей минерализации пластовых вод этих месторождений. Хлоридно-кальциевые воды при их высокой минерализации характерны для зон отсутствия или затрудненного водообмена, поэтому гидраты природного газа получали в статических условиях при температуре $+5^{\circ}\text{C}$. Исследование свойств гидратов, полученных в минерализованных растворах, показало заметное влияние электролитов на процессы их роста и разложения, а также на текстуру и компонентный состав газа в гидратах. Равновесные кривые гидратообразования в растворах электролитов смешены в область более высоких давлений и низких температур. Сдвиг равновесных кривых зависит от активности воды в растворах электролитов. Текстура гидратов зависит от типа катиона в растворах электролитов. Если в воде образуются нитевидные кристаллы гидратов, то катионы натрия способствуют образованию гранулярных, а кальция — слоистых гидратов. Исследование компонентного состава газа, полученного разложением гидратов, показало, что минерализация растворов приводит к концентрированию в клатратной фазе углеводородов $\text{C}_2 - \text{C}_4$, увеличению коэффициента жирности и теплотворной способности газа. Форма кинетических кривых разложения гидратов зависит от типа и степени минерализации модельных пластовых вод.

Работа выполнена в рамках Госзаказа ФАНО РФ № 0377-2016-0003.

СЕЙСМОГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДЕВОН-КАЙНОЗОЙСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ СЕВЕРНОЙ АЛЯСКИ

К. И. Канакова¹, Е. С. Сурикова^{1,2}, С. М. Гусева¹

¹*Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН,
Новосибирск*

²*Новосибирский государственный университет*

Изучение геологического строения северной Аляски является чрезвычайно важным для понимания геологии большей части территории Восточной Арктики. Строение региона в целом и северной Аляски в частности имеет богатую геодинамическую историю. Регион Восточной Арктики включает фрагменты докембрийского Гиперборейского кратона, а также байкальских, каледонских и среднемелового (позднекимерийского) орогенных поясов [1].

В основу работы были положены временные сейсмические разрезы 2D, покрывающие плотной сетью территорию северной Аляски, а также данные поискового и разведочного бурения в указанном регионе. Территория исследования ограничена на юге хребтом Брукса, на севере - акваториями морей Бофорта и Чукотского.

В общем виде разрез Северной Аляски можно разделить на 3 структурных этажа: 1 - франклинский ($PR - D_3$), 2 - элсмир-бофортский ($D_3 - K_1$) и 3 - брукский ($K_1 - KZ$).

1) Девон-протерозойский фундамент (в североамериканской шкале - франклинский комплекс пород) характеризуется переменно-амплитудным рисунком сейсмической записи, с сохранением субпараллельной ориентировки осей синфазности; дислоцирован разрывными нарушениями надвиговой природы, имеющими, главным образом, северное направление. К кровле франклинского фундамента приурочен энергетически выраженный отражающий горизонт, который надежно прослеживается на всей территории.

2) Верхнедевон-нижнемеловому (элсмир-бофортскому) осадочному комплексу соответствуют позднедевонско-пермские отложения пассивной континентальной окраины (элсмир) и триас-раннемеловые отложения, связанные с процессами континентального рифтогенеза (бофорт). Стоит отметить, что во время накопления данного комплекса главный источник сноса находился на территории современного Северного ледовитого океана [1]. На временных разрезах данный комплекс пород характеризуется высокоамплитудной субпараллельной слоистостью.

3) Мел-кайнозойский (брукский) осадочный комплекс отделен от нижезалегающих пород региональным нижнемеловым несогласием (LCU). На данной территории отложения комплекса представляют собой молассы, заполнявшие синнадвиговый бассейн (прогиб Колвилл), образовавшийся во время формирования Верхояно-Чукотской складчатой области. На временных разрезах данный комплекс пород также характеризуется высокоамплитудной субпараллельной слоистостью, к поверхности LCU приурочен устойчивый энергетически выраженный отражающий горизонт. Азимуты падения пластов элсмир-бофортского и брукского комплексов кардинально различаются. Залежи углеводородов на севере п-ова Аляска связаны с отложениями как элсмир-бофортского, так и брукского комплексов. По физико-химическим

свойствам и углеводородному составу нефти разных комплексов значительно различаются [2].

ЛИТЕРАТУРА

- Хайн В.Е., Полякова И.Д., Филатова Н.И. *Тектоника и нефтегазоносность Восточной Арктики*. Геология и геофизика. 2009. Т. 50. № 4. С. 443–460.
- Claypool G.E., Magooon L.B. *Oil and gas source rocks in the National Petroleum Reserve in Alaska*. Geology and exploration of the National Petroleum Reserve in Alaska, 1974-1982, U.S. Government Printing Office, Washington. 1988. pp. 451–482.

МЕТОД РАСЧЕТА ХАРАКТЕРИСТИК ХОДКОСТИ ЛЕДОКОЛА ВО ЛЬДАХ

Г. И. Каневский¹, А. М. Клубничкин¹, А. В. Рыжков², К. Е. Сазонов¹

¹Крыловский государственный научный центр, Санкт-Петербург

²ЦКБ “Айсберг”, Санкт-Петербург

Расчеты характеристик ходкости судов, эксплуатируемых в условиях чистой воды, являются необходимым элементом проектной документации. При выполнении таких расчетов используется фундаментальная система коэффициентов взаимодействия движителя с корпусом судна. Традиционные коэффициенты взаимодействия получают при проведении самоходных испытаний моделей судов в гидродинамических бассейнах. Для ледоколов и судов ледового плавания при движении во льдах такие расчеты не проводились из-за того, что традиционная система коэффициентов взаимодействия не описывает указанный режим (тяжело нагруженный гребной винт, отрицательный коэффициент попутного потока).

Для возможности выполнения расчетов ходкости в ледовых условиях была разработана альтернативная (швартовая) система коэффициентов взаимодействия, при этом нахождение альтернативных коэффициентов возможно из традиционных модельных экспериментов. Использование, при выполнении ряда допущений, этой системы позволило разработать метод расчета всех характеристик ходкости ледокола: частоты вращения движителей, потребляемой ими мощности и т.д. во всем диапазоне относительных поступей движителя, характерных для движения во льдах.

Использование метода расчета характеристик ледовой ходкости позволяет оценивать ледовое сопротивление судна по результатам его натурных испытаний. В докладе приведены примеры обработки данных натурных испытаний ледоколов “Владивосток” и “Новороссийск”.

МЕТОД РАСЧЕТА ПЕРЕПАДА ДАВЛЕНИЯ ПРИ МНОГОФАЗНОМ ТЕЧЕНИИ В ТРУБОПРОВОДАХ НА ОСНОВЕ АЛГОРИТМОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

E. A. Канин, A. L. Вайнштейн, A. A. Осипцов, E. V. Бурнаев

Сколковский институт науки и технологий, Москва

В настоящей работе развивается подход для расчета перепада давления в трубопроводах и в скважинах произвольного угла наклона на основе методов машинного обучения. Разработанный метод основан на разбиении трубы на сегменты и расчете перепада давления на сегменте с использованием трех суррогатных моделей, основанных на алгоритмах машинного обучения. Первая модель предсказывает объемную долю жидкости, вторая модель определяет режим течения, третья модель – градиент давления в сегменте. Для обучения и оценки предсказательной способности построенных моделей использовались доступные в открытой печати данные лабораторных экспериментов и синтетические точки, рассчитанные при помощи симулятора многофазного течения. При создании моделей использовались алгоритмы машинного обучения такие как: случайный лес, градиентный бустинг, метод опорных векторов, нейронные сети. Для настройки гиперпараметров моделей данные были разделены на три типа: данные для обучения, валидации и тестирования. В качестве основных метрик оценки моделей были использованы: для классификации – точность, площадь под графиком ROC-кривой; для регрессии – среднеквадратическое отклонение, коэффициент детерминации (R^2).

Предложенный подход также имеет ряд преимуществ по сравнению с распространенными в научной литературе моделями для определения перепада давления вдоль трубопровода с использованием методов искусственного интеллекта [1, 2]. Во-первых, сегментация трубы позволяет учитывать изменчивость типа течения и градиента давления по её длине. Во-вторых, каждая из моделей для предсказания градиента давления была обучена для своего режима течения, что позволяет рассчитывать градиент давления в потоке с учетом локального режима. В-третьих, приведена сравнительная характеристика алгоритмов машинного обучения для вычисления распределения давления и критический обзор границ применимости проверенных методов.

Таким образом, предложенный метод позволяет рассчитывать более корректно перепад давления в скважинах и трубопроводах. Это позволит точнее расчитывать забойное давление и распределение давления по длине трубопровода с целью планирования работы скважин или систем транспортировки углеводородов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Osman E.-S. A., Ayoub M. A., Aggour M. A. *An Artificial Neural Network Model for Predicting Bottomhole Flowing Pressure in Vertical Multiphase Flow*. SPE Conference 93632-MS. 2005.
2. Li X., Miskimins J., Hoffman B. T. *A Combined Bottom-hole Pressure Calculation Procedure Using Multiphase Correlations and Artificial Neural Network Models*. SPE Conference 170683-MS. 2014.

СПУТНИКОВЫЙ МОНИТОРИНГ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ДИОКСИДОМ СЕРЫ АТМОСФЕРЫ В ПОЛЯРНЫХ ШИРОТАХ

*В. Б. Кашкин¹, Д. Б. Зуев¹, М. А. Курако¹, А. А. Романов¹, Т. В. Рублева¹,
К. В. Симонов²*

¹*Сибирский федеральный университет, Красноярск*

²*Институт вычислительного моделирования СО РАН, Красноярск*

Исследование посвящено анализу данных мониторинга загрязнения атмосферы в приполярных и полярных широтах диоксидом серы. Данные получены с помощью измерительных инструментов OMI (Ozone Monitoring Instrument, спутник AURA) с 2004 г. и OMPS (Ozone Mapping Profiler Suite, спутник SUOMI NPP) с 2014 г. Наиболее предпочтительными являются данные, получаемые прибором OMI, предназначенный для измерения общего содержания газов (озона, двуокиси серы и т. д.). Прибор OMI измеряет интенсивность уходящего солнечного излучения в трех спектральных каналах UV-1 (264–311 нм), UV-2 (307–383 нм) и VIS (349–504 нм) с высоким спектральным разрешением (0,45–0,63 нм). Пространственное разрешение OMI составляет 13×24 км и 13×48 км.

В работе, в частности, используются базы спутниковых данных OMI и OMPS по выбросам диоксида серы в атмосферу в Норильской промышленной зоне. Разработано алгоритмическое и информационное обеспечение для обработки и анализа соответствующих данных по выбросам SO₂ природного и техногенного происхождения в атмосферном воздухе в приполярных и полярных широтах. На основе спутниковых данных определены значения общего содержания SO₂ на различных высотах (0,9, 2,5, 7,5 и 17 км), площади распространения антропогенных выбросов в Норильской промышленной зоне и оценки направления перемещения загрязняющих веществ в приполярных и полярных широтах. Произведен анализ выбросов диоксида серы по концентрации и массе.

Выполнены оценка и картографирование зон экологического риска как определение воздействия загрязнения атмосферы на растительный покров экосистемы полуострова Таймыр. Оценка экологического риска основана на расчете соответствующих показателей и использовании критерия чрезвычайной экологической ситуации с учетом реакции растительного покрова к загрязнению, которое определяется по данным ДЗЗ. Представлены результаты расчетов на основе методики картографирования зон экологического риска.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЛЬДА НА НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОМ СТАЦИОНАРЕ “ЛЕДОВАЯ БАЗА “МЫС БАРАНОВА”

С. М. Ковалев, В. А. Бородкин, Н. В. Колабутин, В. Н. Смирнов

Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург

В 2013 году на о-ве Большевик арх. Северная Земля возобновил постоянную работу научно-исследовательский стационар “Ледовая база “Мыс Баранова”. Состав комплексных исследований ледяного покрова непрерывно расширяется и сейчас включает в себя: стандартные визуальные ледовые наблюдения, исследования морфологических характеристик ровного льда, исследования физико-механических свойств льда, исследования динамики ледяного покрова, изучение пространственной неоднородности строения и физических свойств припайного льда.

Стандартные визуальные наблюдения за состоянием ледяного покрова на видимом пространстве в проливе Шокальского ведутся с наблюдательного пункта, расположенного на обрывистом берегу (высота над уровнем моря 24 м). Дальность видимого горизонта с точки наблюдения при благоприятных погодных условиях составляет 18,2 км.

Исследования морфологических характеристик льда и снега проводятся на специальном полигоне (80×100 м) как контактным, так и бесконтактным способом (с помощью прибора EM31Ice). На контрольной точке вблизи полигона выполняется комплекс работ по определению физических характеристик снежно-ледяного покрова. Для изучения пространственной неоднородности строения и физических свойств припайного льда аналогичные работы проводятся в местах, отличных от основного ледового полигона по своему географическому положению или условиям ледообразования.

Основными задачами исследований физико-механических свойств ледяного покрова являются:

- изучение физико-механических характеристик ровного льда и торосов традиционными методами на образцах (текстура, плотность, температура, солёность, характеристики прочности льда);
- определение пространственной и сезонной изменчивости полномасштабной прочности припая на всю толщину методом скважинного зонд-индентора и сравнительного испытания прочности образцов льда;
- изучение азимутальной анизотропии (изменения свойств льда в зависимости от преобладающего направления главной оптической оси кристаллов);
- изучение деформирования и разрушения льда при внедрении зонд-индентора, влияния диаметра индентора на локальную прочность (масштабный эффект), влияния скорости внедрения индентора на прочность льда;
- получение новых данных по деформированию льда при грузовых операциях на припое методом контроля параметров чаши прогиба под статической и динамической нагрузкой.

Исследования динамики ледяного покрова включают в себя проведение сейсмического мониторинга состояния припайного льда, динамики выводных ледников, процессов обрушения обломков ледника, образования айсбергов, пропахивания килями торосов и айсбергов морского дна. Проводятся крупномасштабные эксперименты для изучения затухания изгибо-гравитационных волн с расстоянием; для этого в период морских транспортных операций регистрируются волновые процессы при движении ледокола в припайном льду на расстоянии от базы 10-20 км. Волновые и колебательные процессы во льду позволяют определять состояние припая и выявлять прогностические признаки его разрушения. Проводятся наблюдения за сейсмичностью региона, обусловленной землетрясениями и локальными микросейсмами от динамики льдов - "ледотрясениями". С этой целью и для получения наиболее полной информации о сейсмичности побережья моря Лаптевых с 2016 года на НИС совместно с Федеральным исследовательским центром комплексного изучения Арктики РАН организована и введена в действие сейсмическая станция "Северная Земля" с кодом SVZ.

МНОГОМЕРНЫЙ АНАЛИЗ ФАКТОРОВ ОБРАЗОВАНИЯ ЗАТОРОВ ЛЬДА В РЕЧНЫХ БАССЕЙНАХ ПОБЕРЕЖЬЯ МОРЕЙ СЕВЕРНОГО ЛЕДОВИТОГО ОКЕАНА

Д. В. Козлов^{1,2}, С. Л. Кулешов³

¹Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет,

²Институт водных проблем РАН, Москва

³Российский государственный аграрный университет - МСХА им. К. А. Тимирязева, Москва

Северные территории России характеризуются многообразием опасных гидрологических явлений (высокие уровни воды и паводки на реках, низкая межень, наледи и нагонные явления), приводящих к наводнениям, вызванным образованием заторов льда в речном русле. Выход воды и ледяных навалов на пойму, характерный для заторного наводнения, может повлечь за собой значительный материальный ущерб окружающей среде [1].

Задача исследований состояла в том, чтобы оценить влияние характерных элементов строения речного русла на частоту образования заторов льда в пределах речного бассейна. Для решения задачи был использован один из методов многомерного анализа данных - разделительный анализ.

Влияние элементов морфометрического строения речного русла на частоту возникновения ледовых заторов в пределах речных бассейнов побережья морей Северного Ледовитого океана было оценено с использованием множественного регрессионного анализа. Результаты исследований показали, что наибольшее влияние на частоту возникновения ледовых заторов оказывают такие морфометрические факторы как разветвление русла реки, изменчивость речного русла в плане и переменность глубины речного потока.

Применение метода многомерного анализа данных к поставленной задаче позволяет повысить эффективность прогнозирования ледового режима рек и его осложнений заторами льда с последующей оценкой ущерба окружающей среде.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант №17-77-30006).

ЛИТЕРАТУРА

1. Козлов Д. В., Бузин В. А., Фролова Н. Л. и др. *Опасные ледовые явления на реках и водохранилищах России*. Под общей редакцией Д. В. Козлова. М.: Изд-во РГАУ-МСХА им. К. А. Тимирязева. 2015.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КУМУЛЯТИВНЫХ ЗАРЯДОВ ДЛЯ РАЗРУШЕНИЯ ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА

В. И. Колпаков, Н. А. Кудюков, С. В. Ладов, Я. М. Никольская, С. В. Федоров

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва

В настоящее время кумулятивные заряды (КЗ) с металлическими облицовками конической или полусферической формы находят широкое применение как в военной области, так и в ряде гражданских взрывных технологий. При этом наиболее исследован вопрос пробития классическими осесимметричными КЗ, формирующими высокоскоростные кумулятивные струи (КС), монолитных стальных преград.

В инженерных методах оценки глубины проникания КС в такие жестко-пластические преграды используется, как правило, гидродинамическая модель кумуляции с соответствующими поправочными коэффициентами. При переходе на нетрадиционные материалы преград, такие как скальные породы, бетон, лед, мерзлый грунт, вода, к которым в последнее время проявляется интерес в связи с возможностью расширения области использования КЗ, роль таких поправок особенно возрастает.

Как правило, такие материалы имеют небольшую плотность по отношению к стали и достаточно большую сжимаемость, некоторые из них характеризуются инерционным движением среды и хрупким характером разрушения; помимо срабатывавших элементов КС существенный вклад в глубину пробития может вносить проникающий как жесткое тело пест.

В работе на основе инженерной и численной методик, а также эксперимента исследуются особенности проникания КС в ледяную преграду, а также характер разрушения льда в зоне образуемого сквозного отверстия. При этом установлено и количественно описано существование в окрестности пробитого отверстия ослабленных по прочности зон льда: зоны мелкодисперсного снега, зоны мелкокристаллических раздробленных частиц льда и зоны трещинообразования.

Поскольку КЗ, как правило, используются для предварительного “шпурения” льда с целью последующего опускания в шпур фугасного заряда для основного подрыва льда, эту особенность можно использовать при разработке соответствующего комбинированного взрывного устройства для разрушения ледяного покрова.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках базовой части государственного задания по разделу “Инициативные научные проекты” (код проекта 9.5330.2017 БЧ).

ЛИТЕРАТУРА

1. Ладов С. В. Кобылкин И. Ф. *Использование кумулятивных зарядов во взрывных технологиях*. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1995. 47 с.
2. Ладов С. В., Колпаков В. И., Федоров С. В. *Особенности пробития ледяных и грунто-бетонных преград кумулятивными зарядами*. Оборонная техника. 1995. № 4. С. 39–45.

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ СЕВЕРНОЙ ОКРАИНЫ СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ И АКВАТОРИЙ МОРЯ ЛАПТЕВЫХ

*В. А. Конторович^{1,2}, И. А. Губин¹, А. Ю. Калинин^{1,2}, Л. М. Калинина^{1,2},
М. В. Соловьев^{1,2}*

¹Институт геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, Новосибирск

²Новосибирский государственный университет

Одной из самых актуальных задач в настоящее время для Российских геологов, геофизиков и нефтяников является изучение геологического строения и оценка перспектив нефтегазоносности арктических регионов Сибири и шельфов северных морей. К таким перспективам относятся северные районы Красноярского края, республики Саха (Якутия) и прилегающие акватории моря Лаптевых. На тектонических схемах, составленных в конце XX - в начале XXI века, объект исследования охватывает восточную часть Енисей-Хатангского регионального прогиба, Анабаро-Хатангскую седловину, северную часть Анабарской антеклизы, Лено-Анабарский мегапрогиб и Предверхоянский краевой прогиб [1]. Регион изучен геолого-геофизическими работами неравномерно, что вносит значительные сложности и неоднозначности при прогнозе геологического строения и перспектив нефтегазоносности.

В результате исследования выполнена комплексная интерпретация сейсмических материалов и данных бурения по территориям Анабаро-Хатангской, Лено-Анабарской нефтегазоносных областей (НГО). В их пределах пробурены глубокие скважины, позволяющие надежно стратифицировать отражающие сейсмические горизонты и сейсмогеологические комплексы. Анализ временных сейсмических разрезов позволяет выделить в разрезе платформенных отложений 7 сейсмогеологических комплексов: рифейский; вендский карбонатный; венд-кембрийский терригенный; нижне среднепалеозойский карбонатный; пермский, триас-юрский и меловой терригенные. Комплексы в кровле и подошве контролируются сейсмическими энергетически выраженными отражающими горизонтами. Серия сейсмических отражений также выделяется внутри рифейской толщи [2]. В результате по выделенным комплексам

был построен набор структурных карт; выполнены структурный, палеотектонический и сейсмофациальный анализы. Рассмотрены возможные нефтематеринские породы, региональные коллектора и флюидоупоры, а также типы возможных ловушек для залежей нефти и газа. В Анабаро-Хатангской НГО выделяется 5 основных перспективных нефтегазоносных комплексов (НГК): верхнепротерозойский, нижнесреднепалеозойский, верхнепалеозойский, триасовый и мезозойский. В Лено-Анабарской НГО выделяется 3 перспективных НГК: венд-нижнекембрийский, верхнекембрийский и пермский.

В 2017 г. компанией ПАО “Роснефть” пробурена скважина Центрально-Ольгинская № 1 в Хатангском заливе моря Лаптевых, из которой получены промышленные притоки. Геологические запасы месторождения составляют 298 миллион тонн нефти, извлекаемые — более 80 миллионов. Это свидетельствует о высоких перспективах арктических регионов Сибирской платформы. Изучение геологического строения региона является актуальным.

ЛИТЕРАТУРА

1. Конторович В. А., Конторович А. Э., Моисеев С. А., Соловьев М. В. *Структурно-тектоническая характеристика Лено-Анабарского региона*. Геология нефти и газа. 2014. № 1. С. 74–82.
2. Конторович В. А., Конторович А. Э., Губин И. А., Зотеев А. М., Лапковский В. В., Малышев Н. А., Соловьев М. В., Фрадкин Г. С. *Структурно-тектоническая характеристика и модель геологического строения неопротерозойско-фанерозойских отложений Анабаро-Ленской зоны*. Геология и геофизика. 2013. Т. 54. № 8. С. 1253–1274.

СЕЙСМОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ОСАДОЧНЫХ КОМПЛЕКСОВ КАРСКОГО МОРЯ

B. A. Конторович^{1,2}, A. Ю. Калинин^{1,2}, Л. М. Калинина^{1,2}, M. B. Соловьев^{1,2},
C. M. Гусева¹

¹Институт геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, Новосибирск

²Новосибирский государственный университет

Западная Сибирь на протяжении пяти десятилетий представляет собой главный нефтегазодобывающий регион. В нем открыто более 700 нефтяных и газовых месторождений.

Освоение Западной Сибири началось с южных, наиболее приближенных к крупным населенным пунктам, районов и в дальнейшем продвигалось на север. В настоящее время одной из важнейших задач, стоящих перед российскими геологами, геофизиками и нефтяниками, является изучение геологического строения арктических регионов Западной Сибири и шельфа Карского моря, перспективы нефтегазоносности которых чрезвычайно высоки [1, 2, 4, 5].

По оценкам специалистов ИНГГ СО РАН уже во второй половине XXI века осадочные бассейны Северного Ледовитого океана будут играть важную роль в поддержании уровней добычи и обеспечении энергетической и экономической безопасности России [7].

Разрез осадочного чехла на территории исследования подобен разрезу, вскрытыму на севере Западной Сибири на Ямале и Гыдане. Мощность юрско-меловых и кайнозойских пород в пределах Южно-Карской, одной из наиболее глубоких депрессий в бассейне, превышает 12 км. Отличие состоит в том, что главный генератор нефти в Западно-Сибирском бассейне - баженовская свита в акватории Карского моря - находится на больших глубинах и уровень зрелости органического вещества в ней весьма высок [3].

В акватории Карского моря расположены 3 месторождения. Два уникальных по запасам Русановское и Ленинградское газоконденсатные месторождения были открыты в 1989 и 1990 гг. соответственно. Третье нефтегазоконденсатное месторождение "Победа" было открыто в 2013 г. к югу от архипелага Новая Земля, компанией ПАО "Роснефть". Газоносность в Южно-Карской НГО установлена в отложениях сеномана, альба и апта. На месторождении Победа крупная нефтяная залежь открыта в верхней юре [6].

На Русановской и Ленинградской площадях к верхней половине готерив-аптских отложений приурочены газоконденсатные залежи. Все залежи углеводородов приурочены к меловым отложениям южной половины Южно-Карской синеклизы. На Русановском месторождении вскрыты верхняя и средняя части танопчинской свиты (апт). В этом разрезе выделены семь продуктивных песчано-алевролитовых пластов, содержащих газоконденсатные залежи. На Ленинградском месторождении во вскрытой верхней части разреза танопчинской свиты выявлена одна газоконденсатная залежь в кровле отложений апта [3].

В рамках проведенных исследований на базе комплексной интерпретации материалов сейсморазведки и глубокого бурения осуществлено построение структурных карт по всем опорным стратиграфическим уровням и карт изопахит мезозойско-кайнозойских сейсмогеологических мегакомплексов, построены тектонические карты юрского, неокомского и сеноманского структурных ярусов. Благодаря проведенному структурно-тектоническому анализу в юрско-меловых осадочных комплексах было выделено 110 антиклинальных структур, потенциальных ловушек нефти и газа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бочкирев В. С., Брехунцов А. М., Кочергин М. О., Нестеров И. И. (мл.), Огнев Д. А. *Особенности геологического строения зоны сочленения Карского моря и Гыданского полуострова и прогноз ее нефтегазоносности*. Горные ведомости. 2010. № 10. С. 6–18.
2. Ермилов О. М., Карогодин Ю. Н., Конторович А. Э., Тер-Саакян Ю. Г., Агалаков С. Е., Беляев С. Ю., Борисова Л. С., Букреева Г. Ф., Бурштейн Л. М., Гордеев В. Н., Дмитрук В. В., Жилина И. В., Конторович В. А., Красавчиков В. О., Супруненко О. И., Чупова И. М., Фурсенко Е. А. *Особенности геологического строения и разработки уникальных залежей газа крайнего севера Западной Сибири*. Новосибирск, Изд-во СО РАН, 2004.

3. Геология и полезные ископаемые России. В шести томах. Т.5. Арктические и дальневосточные моря. Под ред. И. С. Грамберг, В. Л. Иванова, Ю. Е. Погребицкий. Спб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2004.
4. Казаненков В. А., Ершов С. В., Рыжкова С. В., Борисов Е. В., Пономарева Е. В., Попова Н. И., Шапорина М. Н. Геологическое строение и нефтегазоносность региональных резервуаров юры и мела в Карско-Ямальском регионе и прогноз распределения в них ресурсов углеводородов. Геология нефти и газа. 2014. № 1. С. 27–49.
5. Конторович А. Э., Бурштейн Л. М., Малышев Н. А., Сафонов П. И., Гуськов С. А., Ершов С. В., Казаненков В. А., Ким Н. С., Конторович В. А., Костырева Е. А., Меленевский В. Н., Лившиц В. Р., Поляков А. А., Скворцов М. Б. Историко-геологическое моделирование процессов нафтогенеза в мезозойско-кайнозойском осадочном бассейне Карского моря (бассейновое моделирование). Геология и геофизика. 2013. Т. 54(8). С. 1179–1226.
6. Конторович В. А., Аюнова Д. В., Губин И. А., Калинин А. Ю., Калинина Л. М., Конторович А. Э., Малышев Н. А., Скворцов М. Б., Соловьев М. В., Сурикова Е. С. История тектонического развития арктических территорий и акватоприй Западно-Сибирской нефтегазоносной области. Геология и геофизика. 2017. Т. 58. № 3–4. С. 423–444.
7. Конторович А. Э., Эпов М. И., Бурштейн Л. М., Каминский В. Д., Курчиков А. Р., Малышев Н. А., Прищепа О. М., Сафонов А. Ф., Ступакова А. В., Супруненко О. И. Геология, ресурсы углеводородов шельфов арктических морей России и перспективы их освоения. Геология и геофизика. 2010. Т. 51. № 1. С. 7–17.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ СОЛЯНЫХ КУПОЛОВ В ХАТАНГСКОМ БАССЕЙНЕ

В. А. Конторович¹, Б. В. Лунев¹, В. В. Лапковский¹, Т. В. Абрамов²

¹Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН,
Новосибирск

²ООО “Инверсия-Сенсор”, Новосибирск

Сложное тектоническое строение осадочного выполнения Хатангского бассейна во многом предопределено проявившимся здесь соляным тектогенезом, который, как важный структурообразующий фактор, может в значительной степени контролировать миграцию и аккумуляцию углеводородов, аналогично другим областям проявления соляной тектоники.

В целях прогноза структур соляной тектоники в настоящей работе используется восстановление процесса их формирования. Задача решается путем расчета различных вариантов эволюции, возможных в рамках имеющихся данных о геологическом строении исследуемого участка, и подбора такого варианта, который дает актуальное положение геологических границ, совпадающее с данными бурения и сейсморазведки там, где они надежны. Такое совпадение позволяет считать, что структура определена адекватно во всей области, в том числе и там, где она не установлена обычными методами.

Возможность решения подбором структурно-эволюционной обратной задачи обеспечивается разработанными высокоэффективными вычислительными программами, основанными на аналитическом выражении функции Грина соответствующей краевой задачи гидродинамики, полученным одним из авторов. Граничные условия задачи формируются на основе региональной модели формирования Хатангского осадочного бассейна. Присущая региональной модели вариативность позволяет варьировать граничные условия задачи моделирования соляного тектогенеза с целью подбора.

Проведенное моделирование позволило вскрыть причины, определяющие специфику соляного тектогенеза в Хатангском бассейне, установить основные закономерности его развития и характеристики образующихся структур, в том числе - криптоидиапиров, интересных в плане поисков месторождений углеводородов. Некоторые результаты моделирования представлены на рисунке.

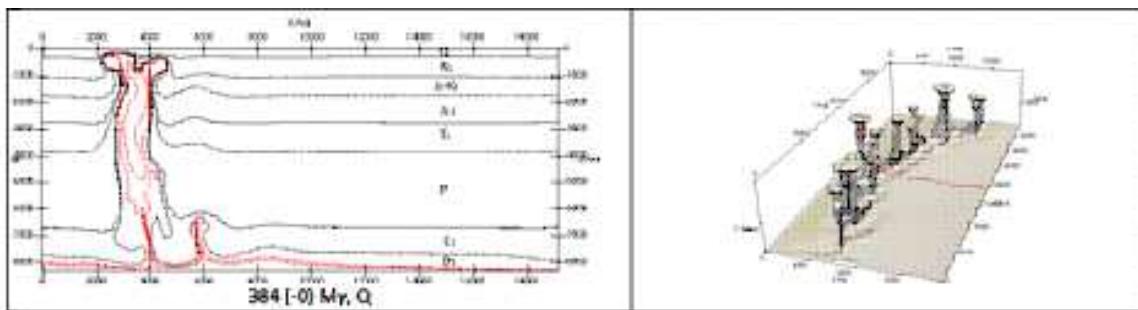


Рис. 5: Справа – 3D-модель заключительной стадии эволюции соляных куполов (поверхность соли); слева - один из разрезов рассчитанной структуры

Работа выполнена в рамках программы IX.131.2.2. фундаментальных научных исследований СО РАН.

СЕЙСМОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ ПРОГНОЗА ГАЗОВЫХ ЗАЛЕЖЕЙ СЕВЕРА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

*B. A. Конторович, Е. С. Сурикова, А. Ю. Калинин, Л. М. Калинина,
М. В. Соловьев*

*Институт геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, Новосибирск
Новосибирский государственный университет*

Работа посвящена выявлению сейсмогеологических критериев прогноза крупных газовых залежей на севере Западной Сибири.

В качестве района работы выбрана территория Надым-Пурского междуречья, где открыто 9 месторождений углеводородов, три из которых - Медвежье, Юбилейное и Ямсовейское являются уникальными по запасам природного газа. Район исследования хорошо изучен сейморазведкой и бурением, и может быть использован в качестве эталонного для выявления сейсмогеологических критериев прогноза газовых залежей.

На севере Западной Сибири апт-альб-сеноманский мегакомплекс, с которым связано подавляющее большинство газовых залежей, в том числе Надым-Пурского междуречья, на временных сейсмических разрезах ограничен отражающими горизонтами М и Г, приуроченными, соответственно, к кровле нейтинской пачки (кровля неокома) и к подошве кузнецковской свиты (кровля сеномана) [1,2]. Внутри мегакомплекса выделяются два резервуара: сеноманский и апт-альбский. Проведенные исследования показали, что сейсмогеологические критерии газоносности для сеноманского и апт-альбского резервуаров различны. В Надым-Пурском междуречье сеноманские газовые залежи являются многопластовыми, массивными, водоплавающими, высокоамплитудными (практически все около/более 100 м); апт-альбские газовые залежи являются пластовыми, существенно уступают сеноманским по запасам и высоте и менее надежно выделяются по сейсмическим данным.

В результате исследования выявлены следующие критерии прогноза газовых залежей в сеноманских отложениях:

1. Наличие на временных разрезах под выделяемыми в рельефе отражающего горизонта Г антиклинальными структурами, квазигоризонтальных локально развитых отражающих сейсмических горизонтов, которые в направлении склонов поднятий сливаются с горизонтом Г и приурочены к газоводяному контакту крупных сеноманских залежей.

2. Наличие зон увеличенных значений временной мощности между отражающими горизонтами М и Г и пониженных значений интервальных скоростей апт-сеноманского мегакомплекса, в плане отвечающие высокоамплитудным структурам, выделенным в рельефе кровли сеномана.

3. Наличие зон пониженных значений амплитуд отражающего горизонта Г и средних значений амплитуд волновых полей внутри всего апт-сеноманского мегакомплекса, в плане отвечающим сеноманским газовым залежкам.

Сейсмогеологический критерий газоносности апт-альбских отложений заключается в том, что значительные по толщине (более 15 м) газонасыщенные апт-альбские песчаники отображаются на временных разрезах положительными аномалиями амплитудных характеристик сейсмической записи, получившими название эффекта “яркого пятна”.

ЛИТЕРАТУРА

1. Конторович В. А., Аюнова Д. В., Губин И. А., Калинин А. Ю., Калинина Л. М., Конторович А. Э., Малышев Н. А., Скворцов М. Б., Соловьев М. В., Сурикова Е. С. *История тектонического развития арктических территорий и акваторий Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции* Геология и геофизика. 2017. Т. 58. № 3–4. С. 423–444.
2. Конторович В. А., Аюнова Д. В., Губин И. А., Ершов С. В., Калинин А. Ю., Калинина Л. М., Канаков М. С., Соловьев М. В., Сурикова Е. С., Шестакова Н. И. *Сейсмостратиграфия, история формирования и газоносность структур Надым-Пурского междуречья*. Геология и геофизика. 2016. Т. 57. № 8. С. 1583–1595.

СДВОЕННЫЙ КРИТЕРИЙ УСТАЛОСТНОГО РАЗРУШЕНИЯ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ СУЩЕСТВЕННЫХ ПЕРЕПАДАХ ТЕМПЕРАТУР

B. M. Корнев

Институт гидродинамики им. М. А. Лаврентьева СО РАН, Новосибирск

За модель деформируемого тела выбрана модель упруго идеально пластического материала, имеющего предельное относительное удлинение. Предлагается использовать сдвоенный критерий разрушения, когда реализуется маломасштабная текучесть в окрестности вершины реальной трещины и частично сохраняется сингулярность поля напряжений в вершине модельной трещины. Перед вершиной реальной трещины расположена зона пластичности. Зона предразрушения, примыкающая к вершине реальной трещины, занимает только часть зоны пластичности. Построены диаграммы квазихрупкого разрушения для исследуемого типа нагружения. Модификация полученных диаграмм при пульсирующем приложении нагрузки связана с учетом накопления повреждений при неупругом деформировании материала зоны предразрушения (уравнение Коффина).

Предложены два пороговых значения критических параметров для описания процесса скачкообразного продвижения вершин усталостных трещин. Оба пороговых значения выписаны в явном виде в том числе и для коротких макротрещин. Второе пороговое значение - переменная величина, это пороговое значение непосредственно связывается с поврежденностью материала в зоне предразрушения. При нелинейном деформировании материала зоны предразрушения расходуется запас пластичности материала из-за охрупчивания материала при каждом цикле нагружения.

Получены аналитические выражения, связывающие скачкообразное продвижение вершины усталостной трещины с числом циклов. Выполнен подробный анализ трех стадий процесса продвижения вершин трещин и их зависимость от геометрических параметров трещин и образцов, характеристик материала и интенсивности усталостного нагружения при пульсирующем приложении нагрузки. Для осредненного процесса указаны грубые оценки перехода от первой стадии ко второй и от второй стадии к третьей. Получены достаточно простые аналитические выражения для описания всего процесса, в том числе, когда некоторые из стадий процесса отсутствуют. Получены оценки осредненных скоростей продвижения вершин трещин в элементах стальных конструкций, работающих при температурах выше и ниже порога хладноломкости. Эти скорости могут отличаться на один - два порядка. Установлена связь между константой Коффина и осредненной скоростью продвижения вершин трещин для второй стадии процесса, когда задана постоянная интенсивность нагружения.

Оценки осредненной скорости продвижения вершин трещин позволили построить N-S диаграммы, характеризующие время жизни образцов с начальными трещинами, как при постоянной температуре, так и при существенных перепадах температур. Постоянные предлагаемой модели для конкретной стали при температурах ниже порога хладноломкости подбираются по трем лабораторным экспериментам.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 16-08-00483).

ЭМУЛЬСИИ НЕФТИ КАК СРЕДА ГИДРАТООБРАЗОВАНИЯ

B. V. Корякина¹, И. К. Иванова^{1,2}, М. Е. Семенов¹

¹*Институт проблем нефти и газа СО РАН, Якутск*

²*Северо-Восточный федеральный университет им. М. К. Аммосова, Якутск*

В работе представлены результаты исследований процессов гидратообразования в эмульсиях нефти с различной обводненностью: влияние содержания водной фазы эмульсий на процессы укрупнения капель воды и разделения эмульсий на составляющие фазы, а также взаимосвязь преобладающего механизма гидратообразования с обводненностью нефти.

Объектами исследований служили эмульсии парафинистой нефти Иреляхского ГНМ РС(Я) и воды, полученные путем механического смешения нефти и воды в соотношении фаз 20/80, 40/60, 60/40 и 80/20 без добавления каких-либо дополнительных синтетических ПАВ. В качестве гидратообразующего газа был использован природный газ Средневилюйского ГКМ РС(Я), содержащий 92,88 об.% метана, 5,25 об.% этана и 1,21 об.% пропана, остальных гомологов — 0,24 об.%.

Все синтезы гидратов проводили в стальных камерах-реакторах высокого давления с рабочим объемом 900 мл. Начальное давление гидратообразования составляло 7,5 МПа, температура синтеза составляла -10°C . За протеканием процесса гидратообразования наблюдали по падению давления внутри камер.

Установлено, что средние диаметры водных капель эмульсий до и после гидратообразования подчиняются логнормальному распределению, средний диаметр капель воды до гидратообразования составляет 15–17 мкм. После гидратообразования среднечисленный диаметр водных капель эмульсий с низким водосодержанием не изменяется, а с высокой обводненностью немного увеличивается — 2–6 мкм. Помимо изменения размеров капель также наблюдается увеличение значений степени полидисперсности до и после гидратообразования, и чем выше обводненность ВНЭ, тем выше полидисперсность.

Установлено, в процессе гидратообразования происходит слияние некоторой доли капель воды с укрупнением их конечного диаметра после разложения гидрата, причем слиянию подвергаются преимущественно капли больших размеров, а мелкие капли не проявляют большой склонности к слипанию.

В ходе гидратообразования в эмульсиях помимо укрупнения капель воды происходит разделение эмульсии на составляющие непрерывные фазы — водную и нефтяную, степень которой довольно высока и составляет более 95 об.% для высокообводненных нефтей. Для сравнения были проведены эксперименты по вымораживанию эмульсий без гидратообразования. Показано, что метод вымораживания по сравнению с гидратообразованием менее эффективен, особенно в случае разделения эмульсий с низким содержанием воды.

Работа выполнена в рамках госзаказа ФАНО РФ №0377-2016-0003 и при финансовой поддержке со стороны Минобрнауки России в рамках выполнения базовой части государственного задания проект 10.7697.2017/ВУ “Организация проведения научных исследований”.

ВОЛНЫ В ПЛАВАЮЩЕЙ ПОРОУПРУГОЙ ПЛАСТИНЕ

B. K. Костиков^{1,2}, A. A. Коробкин³

¹Институт гидродинамики им. М. А. Лаврентьева СО РАН, Новосибирск

²Новосибирский государственный университет

³University of East Anglia, Norwich, UK

Рассматривается двумерное периодическое по времени движение бесконечной пороупругой пластины постоянной толщины, свободно плавающей на поверхности глубокой идеальной жидкости, в линейной постановке. Деформируемая пористая среда, из которой состоит пластина, может впитывать жидкость как за счёт капиллярных, так и инерционных сил. В состоянии равновесия область, пропитанная жидкостью, отделена от сухой части пластины горизонтальным фронтом смачивания. Волны, распространяющиеся вдоль пластины, вызывают упругие деформации пластины, изменение объема порового пространства и колебания фронта смачивания. Форма поверхности смачивания, а также изгиб пластины неизвестны и подлежат определению в ходе решения задачи. Выделяются три области: жидкость под пластиной, насыщенная и ненасыщенная жидкостью части пороупругой пластины. В каждой из областей строятся решения задачи, которые согласуются на границах областей с помощью соответствующих граничных условий [1]. Уравнения совместного движения жидкости и упругого скелета, составляющих двухфазную среду смоченной пластины, выводятся из законов сохранения и линеаризуются на решении стационарной задачи [1, 2, 3]. Получено дисперсионное соотношение для исследуемых волн. Определены корни дисперсионного соотношения и дана их интерпретация.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 16-08-00291).

ЛИТЕРАТУРА

1. Bear J. *Dynamics of fluids in porous media*. Elsevier, 1966.
2. Biot M. A. *General theory of three-dimensional consolidation*. Journal of Applied Physics. 1941. V. 12. P. 155–164.
3. Coussy O. *Mechanics and physics of porous solids*. John Wiley and Sons Ltd.

НЕСТАЦИОНАРНОЕ ДВИЖЕНИЕ КРУГОВОГО ЦИЛИНДРА ПОД ЛЕДОВЫМ ПОКРОВОМ

B. K. Костиков^{1,2}, Н. И. Макаренко^{1,2}, A. A. Коробкин³

¹Институт гидродинамики им. М. А. Лаврентьева СО РАН, Новосибирск

²Новосибирский государственный университет

³University of East Anglia, Norwich, UK

Рассматривается двумерная задача о генерации нелинейных волн при нестационарном движении цилиндра под ледовым покровом. Жидкость предполагается идеальной и бесконечно глубокой, а ледовый покров моделируется тонкой упругой пластины, неограниченной в горизонтальном направлении и свободно плавающей на

поверхности жидкости. Для решения этой задачи используется метод сведения исходной постановки к интегро-дифференциальной системе уравнений для функции, задающей вертикальное отклонение ледового покрова от положения равновесия, а также нормальной и тангенциальной составляющей скорости частиц жидкости на поверхности ее контакта со льдом. В работе исследуется начальная по времени асимптотика решения для случая движения цилиндра с ускорением из состояния покоя. Главный член такой асимптотики был найден ранее в [1], где рассматривалось движение погруженного эллиптического цилиндра. В предлагаемой работе для кругового цилиндра строится и анализируется приближение более высокого порядка, учитывающее нелинейные эффекты при движении тела вблизи ледового покрова.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (коды проектов 16-08-00291, 18-01-00648).

ЛИТЕРАТУРА

1. Коробкин А. А., Костиков В. К., Макаренко Н. И. *Движение эллиптического цилиндра под ледовым покровом*. Вестник НГУ. 2012. Т. 12. В. 4. С. 76–81.

ЗАЩИТНЫЙ ФУТЛЯР ДЛЯ ПОДЗЕМНОГО ГАЗОПРОВОДА

П. В. Ксенофонтов¹, С. Н. Попов², Ю. Ю. Федоров², С. В. Васильев², А. В. Саввина²

¹АО “Сахатранснефтегаз”, Якутск

²Институт проблем нефти и газа СО РАН, Якутск

Одной из наиболее распространённых причин снижения пропускной способности или выхода из строя подземных газопроводов эксплуатирующихся в северных условиях является деформирование (смятие) газопроводных труб при образовании льда в защитных футлярах при замерзании грунтовых вод в межтрубном пространстве, поступление которых происходит при разгерметизации торцевых уплотнений. Для исключения возникновения таких аварийных ситуаций разработана оригинальная конструкция защитного футляра, отличительной особенностью которой является минимизация возможного объёма проникновения поступления грунтовых вод в межтрубное пространство футляра за счёт предварительного заполнения его полости вспененным замкнутопористым полимером.

Испытания макетов футляров стальных и полиэтиленовых газопроводов проведены при температуре до минус 20°C (более низких значений температуры грунта и газа при нормативных глубинах заложения не ожидается). Результаты испытаний показали, что при образовании льда в заполненном пенопластом межтрубном пространстве, повышение давления и деформирование газопроводных труб практически не наблюдается.

При полном заполнении межтрубного пространства водой и ее однократном замораживании пропускное сечение стального газопровода уменьшается на 30%, полиэтиленового на 70%. При повторных замораживаниях происходит дополнительное снижение пропускной способности вплоть до полного смятия.

При многократном термоциклировании в диапазоне температур от минус 20°С до 20°С макетов с различными типами пенопластов (полистирола, полиуретана и полиэтилена) выявлена целесообразность применения для заполнения полости футляра экструдированного пенополиэтилена.

ИМПУЛЬСНЫЕ УЛЬТРА-ПАРАБОЛИЧЕСКИЕ УРАВНЕНИЯ. УДАРНО-ВОЛНОВЫЕ ПРОЦЕССЫ ВО ЛЬДУ

И. В. Кузнецов, С. А. Саженков

*Институт гидродинамики им. М. А. Лаврентьева СО РАН, Новосибирск
Новосибирский государственный университет*

В работе рассматриваются энтропийные решения начально-краевой задачи Π_0 для импульсного ультра-параболического уравнения.

Пусть Ω есть ограниченная область $\mathbf{x} \in \mathbb{R}^d$ с гладкой границей $\partial\Omega$ ($\partial\Omega \in C^2$). Пусть $t \in [0, T]$ и $s \in [0, S]$ есть две время-подобные переменные. Здесь T и S есть заданные положительные константы. Пусть $\tau \in (0, T)$ есть фиксированный момент времени. Введем обозначения: $G_{T,S} := (\Omega \times (0, \tau) \times (0, S)) \cup (\Omega \times (\tau, T) \times (0, S))$, $\Xi^1 := \Omega \times (0, S)$, $\Xi^2 := \Omega \times (0, T)$, $\Gamma_l := \partial\Omega \times [0, T] \times [0, S]$.

Задача Π_0 . Для произвольных начальных и финальных данных $u_0^1 \in C_0^{0,\alpha}(\Xi^1)$, $u_0^2, u_S^2 \in C_0^{0,\alpha}(\Xi^2)$, и импульсных данных $\beta \in C_0^{0,\alpha}(\Xi^1)$ ($\alpha \in (0, 1)$), необходимо найти функцию $u : G_{T,S} \mapsto \mathbb{R}$, удовлетворяющую системе

$$\partial_t u + \partial_s a(\mathbf{x}, s, u) + \operatorname{div}_{\mathbf{x}} \boldsymbol{\varphi}(u) = \Delta_{\mathbf{x}} u, \quad (\mathbf{x}, t, s) \in G_{T,S}; \quad (1a)$$

$$u|_{t=0} = u_0^1(\mathbf{x}, s), \quad (\mathbf{x}, s) \in \Xi^1; \quad u|_{s=0} \approx u_0^2(\mathbf{x}, t), \quad u|_{s=S} \approx u_S^2(\mathbf{x}, t), \quad (\mathbf{x}, t) \in \Xi^2; \quad u|_{\Gamma_l} = 0; \quad (1b)$$

$$u(\mathbf{x}, \tau + 0, s) = u(\mathbf{x}, \tau - 0, s) + \beta(\mathbf{x}, s), \quad (\mathbf{x}, s) \in \Xi^1. \quad (1c)$$

Знак \approx в (1b)_{2,3} означает, что, возможно, равенства есть лишь на части границы.

Уравнения типа конвекции-диффузии и ультра-параболические уравнения широко применяются при моделировании термодинамических процессов во льду [1]. В данном случае конвективный перенос тепла вдоль направления s связан (неявно) с переносом тепла вдоль фронта ударной волны, проходящей по льду [2], [3]. Таким образом, уравнение (1a) неявно связано с ударно-волновыми процессами, которые, в свою очередь, связаны со спонтанными структурными фазовыми переходами во льду (эффект Бриджмена) [4]. Именно для этого мы вводим импульсное условие (1c). Отметим, что данная модель может быть использована при моделировании ледяного удара (ice quake) как рождение и распространение ударной волны, при образовании которой ключевую роль играет эффект Бриджмена.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта № III.22.4.2 “Анализ математических моделей сплошных сред с сингулярностями, разрывами и внутренними неоднородностями” и Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 18-01-00649).

ЛИТЕРАТУРА

1. Cuffey K. M., Paterson W. S. B. *The physics of glaciers*. Fourth Edition. Amsterdam, etc.: Academic Press. 2010.
2. Зельдович Я. В., Райзер Ю. П. *Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений*. М.: Наука. 1966
3. Stewart S. T., Ahrens T. J. *Shock properties of H₂O ice*. J. Geophys. Res. 2005. V. 110. E03005.
4. Фатеев Е. Г. *Взрывная нестабильность аммоний-водного льда*. Письма в ЖЭТФ. 2008. Т. 88. № 4. С. 276–280.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗРУШЕНИЯ УПРУГОПЛАСТИЧЕСКИХ ТЕЛ С ТРЕЩИНАМИ В УСЛОВИЯХ АНТИПЛОСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ

B. Д. Кургузов

Институт гидродинамики им. М. А. Лаврентьева СО РАН, Новосибирск

Рассматривается распространение трещины продольного сдвига (III мода разрушения) в упругопластических материалах, имеющих предельную деформацию. К исследуемому классу материалов относятся, например, низколегированные стали, применяемые в конструкциях, работающих при температурах ниже порога хладноломкости. Процесс разрушения такого материала описан с помощью модифицированной модели Леонова–Панасюка–Дагдейла, использующей дополнительный параметр – поперечник зоны пластичности (ширину зоны предразрушения). В условиях ма-ломасштабной текучести при наличии сингулярной особенности поля напряжений в окрестности вершины трещины сформулирован трехпараметрический критерий квазихрупкого разрушения для трещин III типа в упругопластическом материале. Деформационный критерий разрушения сформулирован в вершине исходной трещины, а силовой критерий для касательных напряжений с учетом осреднения сформулирован в вершине модельной трещины. Длины исходной и модельной трещины отличаются на длину зоны предразрушения. Выполнен последовательный анализ возможности применения предложенного критерия прочности при определении разрушающих нагрузок для тел, содержащих трещины продольного сдвига.

Построены диаграммы квазихрупкого разрушения для полосы с краевой трещиной в условиях антиплоского деформирования. Проведен анализ параметров, входящих в предлагаемую модель квазихрупкого разрушения. Предлагается подбирать параметры модели по аппроксимации $\tau - \gamma$ -диаграммы одноосного деформирования и критическому коэффициенту интенсивности напряжений K_{IIIc} . Для квазивязкого и вязкого типов разрушения предельные нагрузки найдены численно.

Методом конечных элементов проведено компьютерное моделирование распространения зон пластичности из вершины трещин III типа при квазистатическом нагружении трехмерных образцов. Получена оценка размеров пластической зоны в

окрестности вершины трещины. Отличие численной модели от аналитической состоит в том, что исследованы такие материалы, характеристики которых соответствуют режимам деформирования при полномасштабной текучести. В окрестности вершины выреза возникают большие деформации, поэтому задача решалась в текущей лагранжевой постановке с учетом физической и геометрической нелинейности на основе общих уравнений механики деформируемого твердого тела с использованием в качестве меры напряжений тензора напряжений Коши, а в качестве меры деформаций – тензора логарифмических деформаций Генки. Установлено, что результаты численных экспериментов хорошо согласуются с результатами расчетов по аналитической модели разрушения материалов со структурой при антисимметричном деформировании в режиме маломасштабной текучести.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (коды проектов 16-08-00483, 18-08-00528).

КИНЕМАТИКА ЗЕМЛИ, ПОЛЯРНОЕ СЖАТИЕ И КЕПЛЕРОВЫ ПУЛЬСАЦИИ ФИГУРЫ ПЛАНЕТЫ

Б. В. Левин^{1,2}, Е. В. Сасорова²

¹Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск,

²Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН, Москва

Все динамические процессы на Земле оказываются связанными между собой. Система Земля-Луна обращается вокруг Солнца по эллиптической орбите со средней скоростью 29.78 км/с. Максимум скорости движения по эклиптике (30.29 км/с) достигается в перигелии (2-5 января), а минимум (29.27 км/с) - в афелии (4-6 июля). Эти процессы описываются законами Кеплера и обнаруживают ускорение движения зимой, в период минимального расстояния между Землей и Солнцем, и замедление - летом, когда это расстояние принимает максимальное значение. Угловая скорость вращения Земли вокруг своей оси в течение года также меняется, но - в противофазе: ускорение движения отмечается летом, а замедление - зимой, что вызывает среднечастотные вариации угловой скорости вращения Земли с периодами: 1 год и 0.5 года [1]. Рост угловой скорости планеты ведет в соответствии с законами механики к увеличению полярного сжатия (сплюснутости небесного тела), а также к увеличению площади поверхности геодезического эллипсоида, развитию трещин и разломов и уменьшению напряжения на границах тектонических плит. Уменьшение угловой скорости вращения в очередном цикле приводит к уменьшению полярного сжатия тела, снижению относительной площади поверхности планеты, возникновению "дефицита" площади поверхности оболочки тела, увеличению напряжений сжатия на границах плит и повышению сейсмической активности. Связь между торможением скорости вращения и повышением сейсмической активности отмечалась ранее в работах [1-3].

GPS-наблюдения, выполняемые за последние годы в рамках Мировой сети (International GNSS Service) [<http://sopac.ucsd.edu/>], насчитывающей свыше 900 станций, регистрируют знакопеременные вариации радиус-вектора геодезического эллипсоида уже более 10 лет [4]. Циклические вариации вертикальной компоненты смещения

земной поверхности с периодом 1 год и амплитудой приблизительно 10-20 мм регистрируются многими станциями северного и южного полушария и демонстрируют представительную регулярность. Мы предлагаем назвать эти движения Кеплеровыми пульсациями, поскольку они порождаются вращением планеты по эклиптике и соответствующим вращением вокруг оси с периодическими изменениями формы фигуры тела.

Недавно на основе анализа временных рядов по вариациям угловой скорости вращения Земли длительностью около 300 лет были выявлены низкочастотные вариации скорости вращения (глобальные изменения скорости вращения) с характерными периодами 63, 32, 23 года [6]. Сравнительный анализ глобальных вариаций угловой скорости вращения Земли (УСВЗ) показал, что замедление скорости вращения планеты (этап торможения) приводит к значительному росту сейсмической активности, и наоборот, увеличение скорости вращения ведет к уменьшению сейсмичности. Аналогичный эффект, показывающий связь вариаций угловой скорости вращения с изменением глобальной вулканической активности, был обнаружен недавно в работе [5]. Показано, что низкочастотная вариация скорости вращения сильнее проявляется в синхронизации и активизации природных катастроф, и потому заслуживает более детального изучения в дальнейшем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Левин Б. В., Сасорова Е. В. *О связи вариаций скорости вращения Земли и ее сейсмической активности*. ДАН. 2015. Т. 464. № 3. С. 351–355.
2. Сасорова Е. В., Левин Б. В. *О связи вариаций скорости вращения Земли и ее сейсмической активности. Вступление Земли в новую фазу уменьшения угловой скорости вращения*. Вестник КРАУНЦ. 2017. № 4(20). С. 91–100.
3. Bendick R., Bilham R. *Do weak global stresses synchronize earthquakes?* Geophys. Res. Lett. 2017. V. 44. doi:10.1002/2017GL074934.
4. Levin B. W., Sasorova E. V., Steblov G. M., Domanski A. V., Prytkov A. S., Tsyba E. N. *Variations of the Earth's rotation velocity and cyclic processes in geodynamics*. Geodesy and Geodynamics. 2017. V. 8. pp. 206–212.
5. Levin B., Sasorova E., Gurianov V., Rybin A., Yarmoljuk V. *Do the Earth's rotation velocity decelerations lead to volcanic activation?* EGU General Assembly 2018, Geophysical Research Abstracts. V. 20. EGU2018-3814.
6. Sasorova E. V., Levin B. W. *Effect of low-frequency and midrange variations of the Earth's angular velocity on its seismic activity*. EGU General Assembly 2017, Geophysical Research Scripps Orbit and Permanent Array Center, <http://sopac.ucsd.edu/>.

РАСЧЕТ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА МОРЯ ПО ДАННЫМ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ СПУТНИКОВ

В. А. Левин, А. И. Алексанин, М. Г. Алексанина

Институт автоматики и процессов управления ДВО РАН, Владивосток

Центр коллективного пользования регионального спутникового мониторинга окружающей среды ДВО РАН с 2010 года имеет опыт спутникового информационного обеспечения безопасной проводки судов во льдах в порт Магадан. Актуальной научно-практической задачей является разработка технологий расчета основных динамических параметров ледового покрытия моря – дрейфа и возможных зон сжатия льда.

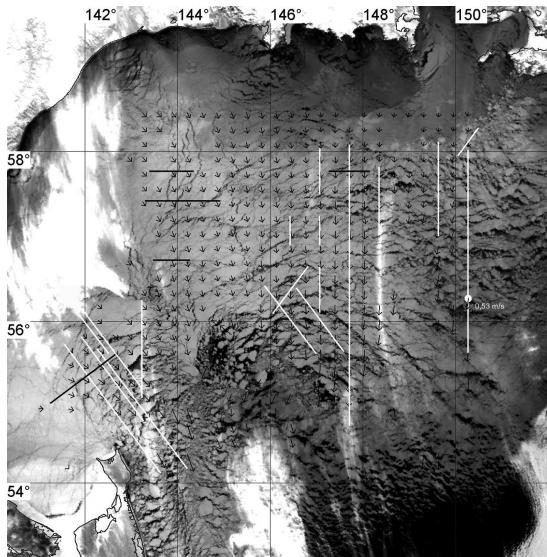


Рис. 6: Зоны сжатий (черные отрезки) и разрежений (белые отрезки), рассчитанные по полю скоростей дрейфа льда (черные стрелки), в Охотском море за 4 марта 2016

Для расчета скоростей перемещения по последовательности спутниковых изображений был разработан оригинальный метод автоматического расчета скоростей дрейфа ледовых полей [1]. При расчете дрейфа льда метод дает точность около 5 см/сек, что соответствует наилучшей получаемой точности современными методами. На основе расчета дрейфа льда был разработан совершенно новый метод автоматического расчета локальных показателей сжатия и разрежения в ледяном покрове моря. Локальный показатель сжатия и разрежения рассматривается как скорость изменения расстояния между отдельными элементами ледяного покрова моря и определяется двумя параметрами — скалярной величиной и направлением оси (Рис.1). Подход позволяет оценить точность и статистическую значимость рассчитываемых параметров [2].

Работа поддержана программой Президиума РАН №27 “Фундаментальные проблемы решения сложных практических задач с помощью суперкомпьютеров”.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексанин А.И., Алексанина М.Г., Карнацкий А.Ю. *Автоматический расчет скоростей перемещений ледовых полей*. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т. 8. № 2. С. 9–17.
2. Алексанин А.И., Алексанина М.Г., Карнацкий А.Ю. *Расчет сжатия ледяного покрова моря по спутниковым изображениям*. Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса. 2017. Т. 14. № 7. С. 210–224.

ХЛАДОСТОЙКОСТЬ КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ С УЛЬТРАМЕЛКОЗЕРНИСТОЙ СТРУКТУРОЙ

E. С. Лукин, A. M. Иванов

Институт физико-технических проблем Севера им. В. П. Ларионова СО РАН,
Якутск

В Арктическом регионе наибольшую опасность для металлоконструкций, эксплуатирующихся в условиях низких климатических температур, представляет хрупкое разрушение, приводящее к катастрофическим последствиям. Во избежание разрушения ответственных элементов конструкций применяют специальные хладостойкие марки сталей. Однако, проблема выбора оптимального сочетания характеристик прочности и хладостойкости является актуальной задачей, поскольку подчас бывает непросто обеспечить надежность и долговечность в экстремальных условиях эксплуатации.

В настоящей работе рассматриваются вопросы повышения хладостойкости конструкционных сталей, упрочненных методом интенсивной пластической деформации (ИПД) по способу равноканального углового прессования (РКУП). Данный способ упрочнения металлических материалов позволяет повысить характеристики прочности стали в 1,5-2,5 раза [1]. Однако, вместе с повышением характеристик прочности наблюдается снижение пластичности, что приводит к охрупчиванию конструкционных сталей и повышению вероятности возникновения хрупкого разрушения. Целью настоящей работы является улучшение характеристик малоуглеродистых сталей, упрочненных методом ИПД, для обеспечения оптимального сочетания характеристик прочности и сопротивления хрупкому разрушению, особенно в условиях низких климатических температур.

Объектом исследования являются малоуглеродистые конструкционные стали, широко используемые в условиях низких климатических температур. Упрочнение сталей проведено методом ИПД по способу РКУП. Упрочнение малоуглеродистых сталей по данному способу приводит к существенному повышению характеристик прочности, но вместе с тем наблюдается снижение характеристик пластичности.

Для повышения сопротивления хрупкому разрушению опробованы различные виды термообработки стали. Установлено, что наилучшие показатели ударной вязкости достигаются при комбинированной термомеханической обработке.

Выводы: Применение РКУП позволяет повысить прочностные характеристики стали за счет измельчения зеренной структуры. Вместе с тем, на основе данных

по ударной вязкости установлено, что малоуглеродистая сталь, подвергнутая РКУП, обладает низким сопротивлением хрупкому разрушению. Однако характеристики сопротивления хрупкому разрушению могут быть существенно улучшены применением постдеформационного отжига стали. Применение комбинированной термомеханической обработки для малоуглеродистых сталей по схеме “закалка + РКУП + отжиг” - позволяет существенно улучшить показатели ударной вязкости с незначительным снижением характеристик прочности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов А. М., Петрова Н. Д., Лукин Е. С., Платонов А. А., Петров П. П. *Структура, свойства и тепловое излучение при деформировании металлов и сплавов, подвергнутых равноканальному угловому прессованию*. Сб. тезисов докладов III-й Евразийской научно-практической конференции “Прочность неоднородных структур” ПРОСТ-2006. Москва. 2006. С. 147.

АНАЛИЗ МИНИ-ГРП С ПОМОЩЬЮ МОДЕЛИРОВАНИЯ ГИДРОРАЗРЫВА ПЛАСТА В ПОРОУПРУГОЙ СРЕДЕ

E. В. Лъготина¹, A. Н. Байкин^{1,2}

¹*Новосибирский государственный университет*

²*Институт гидродинамики им. М. А. Лаврентьева СО РАН, Новосибирск*

Гидроразрыв пласта является одним из важнейших современных технологий интенсификации добычи углеводородов. Распространение трещины гидроразрыва осуществляется путём закачки вязкой жидкости, создающей высокое давление на стенах скважины, достаточное для того, чтобы разрушить горную породу и не допустить закрытие трещины.

Все математические модели гидроразрыва пласта используют физические свойства нефтесодержащей породы в качестве входных параметров, полученных из полевых данных. Так, например, проницаемость породы и сжимающие напряжения могут быть оценены через анализ кривой падения давления, которая является результатом тестов по мини-ГРП. Обычно такой анализ базируется на простых инженерных формулах, выведенных из предположений классической одномерной модели гидроразрыва пласта в упругой среде.

В настоящей работе предложен новый подход к анализу мини-ГРП. Он опирается на идею о том, что проницаемость породы и сжимающие напряжения могут быть подобраны для численного моделирования таким образом, чтобы обеспечить совпадение расчетного давления на забое скважины с кривой падения давления, полученной из полевых данных. За основу для решения прямой задачи ГРП была взята модель распространения трещины гидроразрыва пласта в пороупругой среде из [1], которая была обобщена на случай частично водонасыщенной среды. Эта модель позволяет определить поровое давление и деформацию породы, а также ширину трещины и давление жидкости. Материал породы представляется как проницаемая среда, подчиняющаяся закону пороупругости Био [2]. Среди преимуществ данного

подхода по сравнению с классическими моделями KGD и РКН можно выделить правильную оценку взаимодействия жидкости в порах и в трещине, наличие влияния порового давления на напряженное состояние в окрестности трещины и возможность моделировать нестационарную закачку жидкости и закрытие трещины.

В рамках предложенного метода был проведен анализ чувствительности параметров проницаемости и сжимающих напряжений по отношению к кривой падения давления для мини-ГРП. Также обсуждается возможность получения данных о проницаемости и локальных геологических напряжениях с помощью этой кривой и автоматизация этого процесса.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта №18-31-00410-мол_а).

ЛИТЕРАТУРА

1. Baykin A.N., Golovin S.V. *Modelling of hydraulic fracture propagation in inhomogeneous poroelastic medium*, J. Phys.: Conf. Ser. 2016. V. 722. 012003.
2. Coussy, O. *Poromechanics*. John Wiley & Sons, Chichester, 2004.

НЕЛИНЕЙНЫЕ ВОЛНЫ В МАРГИНАЛЬНО УСТОЙЧИВЫХ ТЕЧЕНИЯХ АНТАРКТИЧЕСКОЙ ДОННОЙ ВОДЫ

*Н. И. Макаренко^{1,2}, Ж.Л. Мальцева^{1,2}, Е. Г. Морозов³, Р. Ю. Тараканов³,
К.А. Иванова⁴*

¹Институт гидродинамики им. М. А. Лаврентьева СО РАН, Новосибирск

²Новосибирский государственный университет

³Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН, Москва

⁴Университет Экс-Марсель, Франция

Рассматривается математическая модель внутренних стационарных волн большой амплитуды в двухслойной жидкости, учитывающая наличие слабой непрерывной стратификации внутри слоев и сдвига скорости на поверхности раздела в невозмущенном течении. Данная модель является обобщением длинноволнового приближения для нелинейного уравнения Дюбрей – Жакотэн – Лонга, ранее рассматривавшегося в [1] для случая, когда в одном из слоев жидкость однородна. В рамках новой модели охарактеризована параметрическая область существования уединенных волн и установлено, что эти волновые режимы могут реализовываться вблизи границы области сдвиговой неустойчивости Кельвина – Гельмгольца. Представляется, что такая маргинальная устойчивость волновых структур может объяснять механизм образования экстремально длинных вихревых серий в глубоководных течениях антарктической донной воды, наблюдавшихся в разломе Романш Срединно-Атлантического хребта [2].

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (коды проектов 17-08-00085, 18-01-00648) и Комплексной программы фундаментальных исследований СО РАН II.1 (проект 2).

ЛИТЕРАТУРА

1. Makarenko N. I., Maltseva J. L. *An analytical model of large amplitude internal solitary waves*. Extreme Ocean Waves, 2nd ed. Springer 2015, E.Pelinovsky and C.Kharif (Eds). P. 191–201.
2. Van Haren H., Gostiaux L., Morozov E., Tarakanov R. *Extremely long Kelvin – Helmholtz billow trains in the Romanche Fracture Zone*. Geophys. Res. Lett. 2014. V. 44 (23). P. 8445–8451.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ РАСПЛАВА ПРИ ОБЛУЧЕНИИ ВОЛЬФРАМА ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ

А. Г. Максимова^{1,2,3}, Г. Г. Лазарева^{2,3,4}, В. А. Попов^{1,2}

¹*Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН, Новосибирск*

²*Новосибирский государственный университет*

³*Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, Новосибирск*

⁴*Новосибирский государственный технический университет*

Компоненты первой стенки и дивертора прототипа токамака-реактора ITER будут подвергаться серьезной тепловой нагрузке во время разряда [1]. Этот поток тепла будет состоять из стационарной компоненты в результате истечения плазмы вдоль сепаратрисы магнитного поля и быстрой импульсной нагрузки в виде ЭЛМов 1 типа, срывов и т.д. Самые интенсивные из этих импульсных тепловых нагрузок приводят к плавлению даже такого тугоплавкого материала как вольфрам, которым будут покрыты дивертоны пластины. Плавление поверхностного слоя может привести к увеличению транспорта материала вдоль поверхности и образованию опасных для плазмы капель материала [2, 3]. На специализированном стенде ВЕТА изучалось воздействие импульсных тепловых нагрузок на материалы, которые моделировались с помощью источника пучка электронов [4]. В экспериментах также использовались режимы облучения, превышающие порог плавления вольфрама. Ранее численное моделирование плавления вольфрама в таких условиях подтвердило ограничение температуры поверхности из-за остывания за счет испарения. В данной работе проводилось численное моделирование движения расплава при облучении электронным пучком. Предполагалось, что динамика расплава вызвана действием давления испаренного материала при облучении электронным пучком. Изучалось выдавливание расплава из нагреваемой области и вращения из-за силы Ампера.

ЛИТЕРАТУРА

1. Pitts R. A., Carpentier S., Escourbiac F., et al *A full tungsten divertor for ITER: Physics issues and design status*. J. Nucl. Mater. 2013. V. 438. S48.
2. Sergienko G., Bazylev B., Huber A., et al *Erosion of a tungsten limiter under high heat flux in TEXTOR*. J. Nucl. Mater. 2007. V. 363–365. Pp. 96–100.

3. Miloshevsky G., Hassanein A. *Modeling of macroscopic melt layer splashing during plasma instabilities.* J. Nucl. Mater. 2011. V. 86. P. 155–162.
4. Vyacheslavov L., Arakcheev A., Burdakov A., et al *Novel electron beam based test facility for observation of dynamics of tungsten erosion under intense ELM-like heat loads.* AIP Conference Proceedings 2016. V. 1771. P. 060009.

ПРИМЕНЕНИЕ РАЗРЫВНОГО МЕТОДА ГАЛЁРКИНА ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ТАЯНИЯ ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДОЙ

C. И. Марков^{1,2}

¹Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН,
Новосибирск

²Новосибирский государственный технический университет

Задача прогнозирования состояния слоя вечной мерзлоты и слоя ледяного покрова является актуальной в связи с возросшим интересом к освоению арктического шельфа и криолитозоны.

Понимание динамики сезонного изменения ледяного покрова во многом позволяет минимизировать урон хрупкому экологическому равновесию на данных территориях и предотвратить техногенные катастрофы.

Математическая формализация физического процесса таяния льда в гетерогенной среде приводит к нелинейной задаче с подвижной границей, решение которой является достаточно ресурсозатратным. В связи с этим на метод решения задачи накладывается ряд жёстких ограничений: вычислительная схема должна учитывать многомасштабную структуру гетерогенной среды и быть максимально гибкой при работе с подвижной границей.

В работе предлагается использовать вариационную формулировку трёхмерной задачи Стефана на базе разрывного метода Галёркина, который входит в семейство неконформных конечноэлементных методов. Решение в разрывном методе Галёркина строится локально на каждой ячейке разбиения расчётной области и доопределяется с помощью специальных операторов следа на межэлементной границе.

Такая стратегия предоставляет гибкий аппарат для естественного учёта условий фазового перехода в задаче Стефана и применения идей локального уточнения решения с помощью технологий *hp-refinement*. Кроме этого, разрывный метод Галёркина допускает декомпозицию пространства решения на непрерывную (вне зоны фазового перехода) и разрывную (в зоне фазового перехода) компоненту решения, что позволяет уменьшить размерность дискретного аналога и сократить время решения задачи Стефана.

Работа выполнена при финансовой поддержке стипендии Президента РФ (СП-3627.2016.5).

ИССЛЕДОВАНИЕ АККУМУЛЯЦИИ РАСТВОРЕННЫХ В ВОДЕ ГАЗОВ В НЕИЗОТЕРМИЧЕСКОМ МАССИВЕ ПОРИСТОЙ СРЕДЫ С УЧЕТОМ ЕЕ ПРОМЕРЗАНИЯ

Б. С. Марышев, Д. С. Голдобин

*Институт механики сплошных сред УрО РАН, Пермь
Пермский государственный национальный исследовательский университет*

Работа посвящена влиянию дополнительного механизма, ответственного за аккумуляцию газов в приповерхностных областях грунта. При рассмотрении течения жидкости, в которой растворен газ, необходимо учитывать выход газа, растворенного в жидкой фазе, в газовую фазу. Диффузия растворенных газов в жидкостях является хорошо изученным вопросом. В классической постановке задачи диффузионный поток гостевых атомов или молекул выражается в терминах градиентов концентрации, давления и температуры. Как правило, межфазная поверхность жидкость – газ не влияет на объемную диффузию и определяет только граничные условия для потока. Однако, существует обширный класс систем, называемых “пузырьковые среды”, где поверхность жидкость – газ обеспечивает насыщение газом раствора во всем объеме жидкости и служит в качестве источника и/или стока для молекул растворенного вещества. В этом случае концентрация раствора всюду равна растворимости. В предположении, что пузырьки газа не движутся, подобное описание применимо, прежде всего, к пористым средам, где пузырькидерживаются силами поверхностного натяжения. Основные примеры таких систем — это торфяники и болота. Наличие неподвижных пузырьков газа для них установлено экспериментально [1].

При исследовании транспорта в неоднородном поле температуры следует учитывать конвективный перенос, термодиффузию и зависимость растворимости от температуры, что приводит к выносу легкой газовой примеси в приповерхностный слой. Учет фазового перехода при замерзании воды в приповерхностном слое приводит к временному исчезновению диффузионного потока растворенного в жидкости газа. В результате перенос резко замедляется, а газ аккумулируется в приповерхностном слое без выноса на поверхность. Рассмотрена одномерная задача о течении жидкости через пузырьковую среду под действием температурной волны с учетом промерзания поверхностного слоя. Растворимость газов в воде предполагается экспоненциальной. С помощью решения уравнения теплопроводности с фазовым переходом получено распределение температуры. На основе которого из уравнения переноса примеси получено распределение концентрации газа в приповерхностном слое, оценена глубина слоя аккумуляции. Изучено влияние параметров задачи на эффект аккумуляции газов.

Работа выполнена при финансовой поддержке совета по грантам Президента Российской Федерации (код проекта МК-1447.2017.5).

ЛИТЕРАТУРА

- Donaldson J. H., Istok J. D., O'Reilly K. T. *Dissolved Gas Transport in the Presence of a Trapped Gas Phase: Experimental Evaluation of a Two-Dimensional Kinetic Model* Groundwater. 1998. V. 36, № 1. P. 133–142.

СИСТЕМА ГЕОФИЗИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ С ДРЕЙФУЮЩЕГО ЛЬДА

В. С. Могилатов^{1,2}, И. Ю. Кулаков², В. В. Плоткин¹

¹*Институт геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, Новосибирск*

²*Новосибирский государственный университет*

Основная, принципиальная проблема, которую приходится решать при проектировании геолого-геофизического исследования в Арктике, состоит в том, что объект покрыт довольно глубоким морем (до 5 км) всюду и на значительной части еще и многолетними льдами. Такая “двойная” упаковка сразу исключает длинный ряд наземных технологий, дистанционные исследования с летательных аппаратов и спутников, а также многие наработки морской геофизики. Что же остается? Стандартные методы сейсморазведки в этих условиях невероятно дороги и проблематичны. Гравиметрические и магнитометрические исследования малоэффективны. Электромагнитные зондирования? Электромагнитные исследования с использованием естественных полей могут сохранить свое значение. Но они не обладают необходимой детальностью. Нужны активные методы. Однако традиционные методы электромагнитных зондирований с искусственными источниками направлены на изучение общего распределения параметра сопротивления в геологической среде и становятся неэффективными при наличии такого мощного проводящего экрана как слой морской воды. Льды также делают невозможным применение некоторых морских технологий (таких как CSEM), которые все же претендуют на некоторую эффективность в море.

Наш подход состоит в том, чтобы, отказавшись от стандартных методик, пожертвовав их мобильностью в пользу сложного, но эффективного устройства эксперимента, обеспечить их долговременное перемещение над изучаемой средой под дном океана за счет известного полярного дрейфа льда.

При этом предлагается комплекс из пассивных методов - сейсмическая томография, магнитотеллурические исследования и активного электромагнитного метода с контролируемым источником. Все три составляющие разрабатываются с оригинальными составляющими, учитывающими проблемы наблюдения геофизических полей, содержащих информацию о литологии дна Арктического бассейна, с поверхности глубокого моря.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 18-17-00095).

ЛИТЕРАТУРА

1. Mogilatov V., Goldman M., Persova M., Soloveichik Yu., Koshkina Yu., Trubacheva O. and Zlobinskiy A. *Application of the marine circular electric dipole method in high latitude Arctic regions using drifting ice floes*. Journal of Applied Geophysics. 2016. V. 135. pp. 17–31.
2. Jakovlev A., Bushenkova N. A., Koulakov I. Yu., Dobretsov N. L. et. al *Structure of the upper mantle in the Circum-Arctic region from regional seismic tomography*. Russian Geology and Geophysics. 2012. V. 53. pp. 963–971.

АНАЛИЗ НЕЗАМЕРЗШЕЙ ВОДЫ В СУСПЕНЗИЯХ БАКТЕРИЙ ИЗ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ПОРОД ПРИ ТЕМПЕРАТУРАХ ИХ ЗАЛЕГАНИЯ МЕТОДОМ ЯДЕРНОГО МАГНИТНОГО РЕЗОНАНСА

Н. С. Молокитина, Л. С. Поденко, А. О. Драчук, О. А. Симонов, Е. О. Симонова

Институт криосферы Земли ТюмНЦ СО РАН, г. Тюмень

Известно, что существуют микроорганизмы, способные сохранять жизнедеятельность и даже размножаться во льду и в многолетнемерзлых породах [1]. Так же известно, что вода в мерзлых грунтах может находиться в незамерзшем состоянии при отрицательной температуре в течение долгого времени [2]. Однако влияние присутствия биологического материала на наличие незамерзшей воды ранее не исследовалось.

Для решения этого вопроса нами была разработана методика ядерного магнитного релаксационного (ЯМР) анализа для определения количества незамерзшей воды в супензиях бактерий, извлеченных из многолетнемерзлых пород, при температурах их залегания. Разработанная методика позволяет определить содержание незамерзшей воды в супензиях клеток микроорганизмов и их метаболитов при температурах до минус 30 градусов Цельсия. В работе использованы бактерии рода *Bacillus* sp штамм MG8, это почвенные спорообразующие, грамположительные микроорганизмы. Ядерно-магнитные релаксационные измерения выполнены на импульсном ЯМР-релаксометре Bruker Minispec mq с резонансной частотой 20 МГц. В эксперименте реализована импульсная последовательность Карра-Парселла-Мейбум-Гилла.

По результатам ЯМР измерений удалось установить, что при отрицательной температуре масса незамерзшей воды может в десятки раз превосходить массу биологического материала. Так для замороженных супензий бактерий *Bacillus* sp. MG8, выделенных из многолетних пород, масса незамерзшей воды превысила массу биологического материала в 32 раза при температуре минус 5 градусов Цельсия.

Работа выполнена по госзаданию, согласно Плану НИР ТюмНЦ СО РАН на 2018-2020 годы. Проект: IX.135.2.3. Молокитина Н. С. благодарит Совет по грантам Президента РФ за предоставленную Стипендию президента РФ СП-3113.2018.1.

ЛИТЕРАТУРА

1. Эль-Регистан Г. И., Мулюкин А. Л., Николаев Ю. А., и др. *Адаптогенные функции внеклеточных ауторегуляторов микроорганизмов*. Микробиология. 2006. Т. 75. № 4. С. 446–456.
2. Рогов В.В. *Основы криогенеза*. Новосибирск: Академическое изд-во “Гео”. 2009.

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗРАБОТКИ ГАЗОГИДРАТНОЙ ЗАЛЕЖИ В УСЛОВИЯХ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУР

Н. Г. Мусакаев^{1,2}, М. К. Хасанов¹, С. Л. Бородин^{1,2}

¹Стерлитамакский филиал Башкирского государственного университета

²Тюменский филиал Института теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН

В большинстве развитых стран своих источников энергии не хватает, например, Япония и Южная Корея импортируют более 98% используемой энергии [1]. Поэтому вполне понятны широко ведущиеся поиски новых, нетрадиционных источников энергоресурсов. Значительные потенциальные ресурсы природного газа (в первую очередь, метана) находятся в залежах газовых гидратов.

Основные методы разработки залежей газогидратов включают снижение давления, нагревание, ввод ингибитора, закачку в пласт диоксида углерода [2]. При депрессионном методе разработки необходимо, чтобы давление в пласте стало ниже равновесного давления разложения гидрата. В этом случае газогидрат начинает распадаться на газ и воду (лед), поглощая при этом тепло. Важность теоретического изучения методов разработки газогидратных залежей вполне очевидна, так как любые технологические идеи должны быть подкреплены соответствующими расчетами, основанными на математических моделях [3].

В работе представлены результаты численного исследования процесса отбора газа из пласта, насыщенного в исходном состоянии метаном и его гидратом, в условиях отрицательной (меньшей 0°C) начальной температуры пласта. В прямолинейно-параллельном приближении предложена математическая модель неизотермической фильтрации газа с учетом фазового перехода. Построен алгоритм решения, позволяющий рассчитать основные параметры депрессионного воздействия на гидратонасыщенную залежь с учетом диссоциации гидрата метана на газ и лед. Расчеты показали, что отбор метана в случае отрицательной исходной температуры пласта (разложение газогидрата происходит на газ и лед) является более выгодным, чем в случае положительной (разложение гидрата метана на газ и воду).

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №17-79-20001).

ЛИТЕРАТУРА

1. Makogon Y. F., Holditch S. A., Makogon T. Y. *Natural gas-hydrates – A potential energy source for the 21st Century*. Journal of Petroleum Science and Engineering. 2007. V. 56. P. 14–31.
2. Yang J., Okwananke A., Tohidi B., Chuvilin E., Maerle K., Istomin V., Bukhanov B., Cheremisin A. *Flue gas injection into gas hydrate reservoirs for methane recovery and carbon dioxide sequestration*. Energy Conversion and Management. 2017. V. 136. P. 431–438.
3. Шагапов В. Ш., Мусакаев Н. Г. *Динамика образования и разложения гидратов в системах добычи, транспортировки и хранения газа*. М.: Наука, 2016.

ДЕФОРМАЦИИ МЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ТРАНСПОРТНОЕ СООБЩЕНИЕ АРКТИЧЕСКИХ РЕГИОНОВ РФ

*А. А. Нестеров¹, Ю. Г. Кондрашов², А. В. Марченко³, Н. К. Васильев⁴,
А. И. Алъхименко⁵*

¹“23 Государственный морской проектный институт” — филиал АО “31ГПИСС”,
Санкт-Петербург

²КПИФ АО “Атомэнергопроект”, Курчатов

³Университетский центр на Свальбарде, Лонгйир, Норвегия

⁴Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники им. Б. Е. Ве-
денеева, Санкт-Петербург

⁵Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

Актуальность изучения многолетней мерзлоты в нашей стране имеет большое значение, так как значительная часть природных ресурсов находится именно в районах ее распространения. Данная работа посвящена экспериментальному изучению температурного деформирования сжатия (расширения) мерзлых грунтов, при циклических изменениях температуры. Практическая ценность работы заключается в описании возможных разрушающих воздействий геокриологических процессов и явлений, действующих на инженерные сооружения, такие как автомобильные и железные дороги, возводимые в северных районах Российской Федерации в условиях вечной мерзлоты. Строительство таких объектов на мерзлых грунтах необходимо для хозяйственного освоения арктических территорий нашей страны, а также для решения транспортных проблем, связанных с разведкой и добычей полезных ископаемых.

ГЕНЕТИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД И РАССОЛОВ АРКТИЧЕСКИХ РАЙОНОВ СИБИРИ

Д. А. Новиков^{1,2}

¹Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН,
Новосибирск

²Новосибирский государственный университет

Выявление генезиса подземных вод и рассолов является одним из краеугольных вопросов в современной гидрогеохимии. С начала прошлого века и по настоящее время были предложены и нашли применение в гидрогеологии несколько классификационных схем генетических типов подземных вод и рассолов развитых в пределах осадочных бассейнов (В. А. Сулин, А. А. Карцев, Е. В. Пиннекер, С. Л. Шварцев и другие). Генетический тип воды предварительно можно установить используя “генетические” коэффициенты отражающие отношения различных макро- и микрокомпонентов в ее составе: $r\text{Na}/r\text{Cl}$, Cl/Br , Ca/Cl , $r(\text{HCO}_3 + \text{CO}_3)/r(\text{Ca} + \text{Mg})$, B/Br , $\text{Br}/\text{Cl} \cdot 10^{-3}$, $\text{Sr}/\text{Cl} \cdot 10^{-3}$, $r\text{Na}/(r\text{Ca} + r\text{Mg})$, $r\text{Na} + r\text{Mg}/r\text{Ca}$, $r\text{Ca}/r\text{Mg}$, $r\text{SO}_4 \cdot 100/r\text{Cl}$, $r\text{HCO}_3 \cdot 100/r\text{Cl}$,

$\text{Br} \cdot 10^3 / \text{M}$, $\text{I} \cdot 10^3 / \text{M}$, $\text{NH}_4 \cdot 10^3 / \text{M}$, Br/I , HCO_3/SO_4 , $(\text{M}/\text{H}) \cdot 100$, $(\text{rCa}/\text{rNa}) \cdot 100$ и другие. Окончательное отнесение водного раствора к тому или иному генетическому типу возможно только после изучения их изотопного состава, в первую очередь распределения δD , $\delta^{18}\text{O}$, $^{3\text{H}}$, ^{37}Cl , ^{81}Br и $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$. Геологическая история арктических районов Сибири позволяет предположить наличие в их разрезе семи генетических групп подземных вод и рассолов: 1) седиментогенных, 2) древних инфильтрографических, 3) литогенных, 4) конденсатогенных 5) седиментогенных рассолов, 6) рассолов выщелачивания солей и 7) криопегов (рассолов с отрицательной температурой развитых в криогенной толще) [1-3].

Следует отметить, что особенности геохимии подземных вод и рассолов во многом определяются составом вмещающих пород (наличие или отсутствие соленосных формаций), гидродинамикой водонапорных систем, гидравлической взаимосвязью водоносных комплексов и палеогидрогеологической историей. Их современный химизм является продуктом длительной геологической эволюции захороненных сингнетических вод. Изначальный состав которых формируется в обстановках осадконакопления. Затем на стадиях диагенеза и катагенеза, захваченные воды претерпевают значительные изменения, вовлекаясь во множество процессов, таких как: уплотнение осадков, элизионный водообмен, вертикальная и латеральная миграция, термодегидратация глинистых минералов и взаимодействие в системе “вода-порода-газ-ОВ”. В этой связи наряду с составом растворенных веществ для правильной идентификации генетического облика подземных вод и рассолов необходимо всесторонне изучать их изотопный состав.

ЛИТЕРАТУРА

1. Новиков Д. А. *Гидрогеологические предпосылки нефтегазоносности западной части Енисей-Хатангского регионального прогиба*. Геодинамика и тектонофизика. 2017. Т. 8. № 4. С. 881–901.
2. Шварцев С. Л., Новиков Д. А. *Природа вертикальной гидрогеохимической зональности нефтегазоносных отложений (на примере Надым-Тазовского междуречья, Западная Сибирь)*. Геология и геофизика. 2004. Т. 45. № 8. С. 1008–1020.
3. Novikov D. A. *Hydrogeochemistry of the Arctic areas of Siberian petroleum basins*. Petroleum Exploration and Development. 2017. V. 44. № 5. pp. 780–788.

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОИСКОВ ЗАЛЕЖЕЙ УГЛЕВОДОРОДОВ В ЗАПАДНОЙ СИБИРИ НА ОСНОВЕ ИЗУЧЕНИЯ ВОДНО-ГАЗОВЫХ РАВНОВЕСИЙ

Д. А. Новиков^{1,2}

¹Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН,
Новосибирск

²Новосибирский государственный университет

Фундаментальная задача изучения геохимических процессов и физико-химических равновесий в системе вода-газ, которая тесно связана с общегеологической проблемой формирования и разрушения залежей нефти и газа, составляет в настоящее время весьма актуальное направление исследований. Общепризнано, что в современный период открытие новых месторождений нефти и газа в Западной Сибири уже не может основываться, главным образом, на выполненных по геофизическим данным структурных построениях и анализе общих геолого-геохимических показателей. В этой связи изучение физико-химических равновесий в системе “вода-газ”, несущее информацию о региональных условиях образования и сохранения месторождений нефти и газа, а также процессах массообмена с окружающими их пластовыми водами, открывает новую обширную область исследований при геохимическом прогнозировании нефтегазоносности и оценке продуктивности локальных структур и площадей.

Алгоритм предлагаемой технологии может быть кратко представлен в следующем виде: 1) Сбор и обобщение всех имеющихся материалов по изучаемому объекту в базу данных в рамках одного из распространенных ГИС-пакетов. 2) Составление с применением ГИС-пакета комплекта электронных карт химического и газового состава подземных вод, гидродинамических, геотермических, палеогеографических и литолого-фациальных карт основных комплексов с обязательным выделением характеристик регионального газогидрогеохимического фона. 3) Выполнение детальных палеогидрогеологических реконструкций для уточнения пространственных границ основных зон нефтегазонакопления. 4) Построение гидрогеологических и гидродинамических моделей потенциальных зон нефтегазонакопления с уточнением характеристик зонального газогидрогеохимического фона. 5) Создание гидрогеологических моделей эталонных месторождений, пустых и перспективных структур. 6) Составление моделей газогидрогеохимического поля в пределах эталонных структур с целью выявления ореольных концентраций залежей нефти и газа. 7) Компьютерное моделирование физико-химических равновесий и процессов в системе вода-газ. 8) Составление модели изменения степени насыщения и характера диффузационного перераспределения газов на границе сред углеводородная залежь - пластовые воды и в зоне перехода от залежи к приконтурным водам. 9) Обоснование рекомендаций по направлению геологоразведочных работ и заложению первых и последующих поисковых скважин.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и Министерства образования, науки и инновационной политики Новосибирской области в рамках научного проекта № 17-45-540086.

АНОМАЛЬНО-ВЫСОКИЕ ПЛАСТОВЫЕ ДАВЛЕНИЯ В ЮРСКО-МЕЛОВЫХ РЕЗЕРВУАРАХ АРКТИЧЕСКИХ РАЙОНОВ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Д. А. Новиков^{1,2}, Ф. Ф. Дульцев¹, А. В. Черных^{1,2}

¹Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН,
Новосибирск

²Новосибирский государственный университет

Гидродинамическим исследованиям Западно-Сибирского мегабассейна (ЗСМБ) посвящены труды Б. Л. Александрова, Г. Д. Гинсбурга, А. Е. Гуревича, В. И. Дюнина, А. П. Каменева, В. Н. Корценштейна, Н. М. Кругликова, Б. Ф. Маврицкого, В. М. Матусевича, В. В. Нелюбина, Д. А. Новикова, О. В. Равдоникас, А. Д. Резника, О. Н. Яковлева и многих других исследователей [1-3]. В основу настоящего исследования положены результаты испытания более 4000 объектов 251 поисковой площади в пределах арктических районов ЗСМБ. Наиболее изученными из всех являются меловые резервуары.

Особенности строения и степень глубинной изученности позволяют в настоящее время выделить в разрезе ЗСМБ мезозойско-кайнозойскую водонапорную систему с характерными водонапорными толщами, водонапорными и водоупорными комплексами. Основной гидродинамической особенностью арктической части ЗСМБ является широкое развитие на глубинах 2,0-6,0 км аномально высоких пластовых давлений (АВПД) как в юрских гидрогеологических комплексах, так и в вышележащих горизонтах, вплоть до неокомских. С глубиной отчетливо выделяются две гидродинамические зоны (сверху-вниз): гидростатических и повышенных переходящих в АВПД. К первой приурочены большинство водоносных горизонтов апт-альб-сеноманского гидрогеологического комплекса. В ниже залегающем неокомском комплексе напряженность гидродинамического поля возрастает и пластовые давления постепенно с повышенных переходят к АВПД в его нижних горизонтах. В юрских комплексах в центральных районах Ямalo-Карской депрессии доминируют повышенные давления и АВПД, которые снижаются до гидростатических по мере приближения к периферии бассейна. Ниже залегающие доюрские комплексы сильно различаются по величине пластовых давлений, так, для триасовых ярко выражены АВПД, а для палеозойских характерны нормальные (гидростатические) и повышенные давления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кох А. А., Новиков Д. А. *Гидродинамические условия и вертикальная гидрогеохимическая зональность подземных вод в западной части Хатангского артезианского бассейна*. Водные ресурсы. 2014. Т. 41. № 4. С. 375–386.
2. Кругликов Н. М., Нелюбин В. В., Яковлев О. Н. *Гидрогеология Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна и особенности формирования залежей углеводородов*. Л.: Недра, 1985.
3. Новиков Д. А. *О вертикальной гидродинамической зональности Ямalo-Карской депрессии (северные районы Западной Сибири)*. Известия Вузов. Нефть и газ. 2018. № 1. С. 35–42.

ПАЛЕОГИДРОГЕОХИМИЯ ОТЛОЖЕНИЙ ЮРЫ И МЕЛА АРКТИЧЕСКИХ РАЙОНОВ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Д. А. Новиков^{1,2}, Я. В. Садыкова¹, А. В. Черных^{1,2}, Ф. Ф. Дульцев¹

¹Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН,
Новосибирск

²Новосибирский государственный университет

Формирование палеогидрогеологии, как самостоятельной науки, изучающей прошлые этапы развития осадочных бассейнов, с целью выяснения роли древних подземных вод в образовании и сохранении месторождений полезных ископаемых, началось начале XX века и обязано трудам П.Н. Чирвинского. Позже разработкой ее теоретических основ занимались многие выдающиеся ученые: Л. А. Абукова, Е. А. Басков, Е. А. Барс, С. Б. Вагин, А. А. Карцев, К. И. Маков, А. М. Никаноров, Е. В. Пиннекер, А. Н. Семихатов, Я. А. Ходжакулиев, С. А. Шагоянц, Г. П. Якобсон и другие [1-3].

На основании методик А. А. Карцева [2] по выделению элизионных и инфильтрационных этапов гидрогеологических цикла в сочетании с методикой восстановления солевого состава вод древних мезозойских морских и озерно-аллювиальных бассейнов [4], в гидрогеологической истории юрско-меловых отложений арктических районов Западной Сибири нами выделено три гидрогеологических цикла (снизу-вверх): индско-синемюрский, плинсбахско-сеноманский и туронско-серраваллийский. Гидрогеологическая история осадочного чехла начинается с индско-синемюрского цикла, берущего начало в нижнетриасовой эпохе. В триасово-раннеюрское и баремско-сеноманско время на территории исследования господствовал континентальный режим осадконакопления, и на большей части территории проходили процессы инфильтрации пресных атмосферных вод преимущественно гидрокарбонатного кальциевого состава с величиной общей минерализации не превышающей 5 г/дм³. На протяжении плинсбах-готеривского и туронско-бартонского элизионных этапов доминировали морские условия седиментации, и вместе с осадками захоранивались сингенетичные хлоридные натриевые воды, местами с повышенным содержанием магния, с величиной общей минерализации, достигающей 30-35 г/дм³ в наиболее глубоководных частях морского бассейна, существовавшего волжское время. Современный химизм подземных вод нефтегазоносных отложений арктических районов Западной Сибири является продуктом длительной геологической эволюции системы “вода-порода-газ-ОВ”.

ЛИТЕРАТУРА

1. Грамберг И. С. *Палеогидрогеохимия терригенных толщ*. Л.: Недра, 1973.
2. Карцев А. А., Вагин С. Б., Басков Е. А. *Палеогидрогеология*. М.: Недра, 1969.
3. Ходжакулиев Я. А., Абукова Л. А. *Палеогидрогеологические исследования при поисках нефти и газа*. М.: Недра, 1985.
4. Садыкова Я. В., Дульцева М. Г. *Роль палеогидрогеохимических факторов в формировании состава подземных вод нефтегазоносных отложений северо-восточной части Большегечетской мегасинеклизы*. Водные ресурсы. 2017. Т. 44. № 2. С. 168–181.

ОСОБЕННОСТИ ГЕОХИМИИ РАССОЛОВ ВЕНДСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

Д. А. Новиков^{1,2}, А. В. Черных^{1,2}, Ф. Ф. Дульцев¹

¹Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН,
Новосибирск

²Новосибирский государственный университет

Уникальность гидрогеологического строения, геотермических, гидродинамических и гидрогохимических условий Сибирской платформы рассматривалась в трудах А. С. Анциферова, Е. А. Баскова, М. Б. Букаты, М. Г. Валяшко, В. И. Вожова, Е. В. Пиннекера и многих других, начиная с 70-х годов прошлого века [1-2]. Открытие гигантских месторождений углеводородов, строительство крупнейших газо- и нефтепроводных систем “Сила Сибири” и “ВСТО - Тихий океан”, обоснование поисковых работ для обеспечения их ресурсной базы определяют повышенный интерес к изучаемому региону. К терригенным отложениям венда в пределах Сибирской платформы приурочены более 50% начальных суммарных ресурсов газа и около 18% суммарных геологических ресурсов нефти [3].

Химический состав изученных рассолов (778 кондиционных проб) преимущественно хлоридный натриево-кальциевый и кальциевый (по С.А. Щукареву), однако катионный состав довольно разнообразен (от Na до Ca-Mg и Mg). Несмотря на локальную латеральную изменчивость гидрогохимического поля горизонтов вендских отложений, можно отметить весьма четкую региональную гидрогохимическую зональность. Хлоридные натриевые рассолы выщелачивания каменной соли распространены в зоне сочленения платформы со смежными складчатыми структурами. Далее эта зона сменяется областью распространения рассолов смешанного катионного состава с преобладанием натрия, которые затем сменяются рассолами смешанного состава с преобладанием кальция. Кальциево-магниевые рассолы имеют локальное распространение как в непском и вилючанском (Купская площадь), так и в тирском и нижнеданиловском горизонтах (Большетирская, Грузновская, Купская и Озерская площади), однако на последних этот тип имеет более широкое развитие.

В целом в вендском комплексе доминируют рассолы с величиной общей минерализации от 280 до 400 г/дм³. Величина общей минерализации непского и вилючанского горизонта варьирует в интервале от 170 до 470 г/дм³, в вышелегающих тирском и нижнеданиловском горизонтах - от 197 до 580 г/дм³. Наиболее минерализованные рассолы выявлены на Аянской, Братской, Балаганкинской, Верхнечонской, Шамановской и других площадях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Анциферов А. С. *Гидрогеология древнейших толщ Сибирской платформы*. М.: Недра, 1989.
2. Вожов В. И. *Подземные воды и гидроминеральное сырье Лено-Тунгусской нефтегазоносной провинции*. Новосибирск: СНИИГГиМС, 2006.
3. Кушмар И. А., Григоренко Ю. Н., Белинкин В. А., Анальев В. В., Губина Е. А. *Нефть и газ Восточной Сибири*. СПб.: Недра, 2006.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ЛЬДА ПРИ СЖАТИИ

Г. А. Нужный¹, В. М. Бузник¹, Г. Ю. Гончарова², Н. Д. Разомасов²

¹ФГУП “Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов” ГНЦ РФ, Москва

²МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва

Известно, что армирование льда существенно улучшает его прочностные свойства и существенно меняет характер разрушения, в частности при изгибе пластин [1], однако, при эксплуатации льда как конструкционного материала важны его характеристики на сжатие. В данной работе изучена прочность ледовых материалов, изготовленных из дистиллированной воды, при сжатии и ледовых композиционных материалов, армированных различными наполнителями (бумага, сено, опилки и др.).

Образцы в форме цилиндра размерами $\phi 50 \times 50$ мм изготавливались послойной заливкой в специальных алюминиевых формах при температуре -18°C . Армирующие компоненты (бумага) выкладывались на замороженные слои равномерно по всему объему образца, дискретные наполнители (опилки) замораживались послойно в смеси с водой. Полученные результаты испытаний сравнивали с образцами, изготовленными из дистиллированной воды, прочность на сжатие которых составляла около 2,0 МПа. Разрушение замороженного дистиллята происходило хрупко с образованием нескольких мелких осколков при деформации сжатия порядка 2,5%.

Армирование ледяных композиционных материалов опилками также позволяет увеличить прочность до 6-8 МПа в зависимости от концентрации армирующего компонента от 2,5 до 15 массовых процентов. Характер разрушения становится более вязким, наблюдается поверхностное растрескивание без образования магистральных трещин, отсутствует образование множества осколков. Армирование льда бумагой и сеном также увеличивает прочность при сжатии ледяных композиционных материалов до 4-6,5 МПа и снижает их хрупкость.

Исследовано влияние скорости деформирования на прочностные характеристики при сжатии ледяных композиционных материалов. Установлено, что с увеличением скорости деформирования с 3 мм/мин до 30 мм/мин прочность образцов, армированных опилками, возрастает до 12 МПа, но увеличивается размер образующихся трещин, а при скорости деформирования до 90 мм/мин наблюдается образование магистральных трещин.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (код проекта 18-13-00392).

ЛИТЕРАТУРА

- Бузник В. М., Ландик Д. Н., Ерасов В. С., Нужный Г. А., Черепанин Р. Н., Новиков М. М., Гончарова Г. Ю., Разомасов Н. Д., Разомасова Т. С., Устюгова Т. Г. *Физико-механические свойства композиционных материалов на основе ледяной матрицы*. Материаловедение. 2017. № 2. С. 33–40.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СОЗДАНИЯ МОРОЗОСТОЙКИХ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Э. М. Нуруллаев, Н. Ю. Любимова

Пермский национальный исследовательский политехнический университет

Разработаны теоретические основы структурно-механического поведения наполненных трехмерно спищих эластомеров. Проведены численные эксперименты для исследования влияния структурных параметров и состава на механические и энергетические свойства исследованных полимерных композитов. Опираясь на данные численных экспериментов, разработан трехмерно спищий, наполненный дисперсными частицами морозостойкий эластомер (температура стеклования 170 К) на основе высокомолекулярных каучуков. Сопоставлены теоретические и экспериментальные данные и показано, что расхождение между ними порядка 5 %. Разработанный эластomer предложен авторами для применения в качестве прокладок в оборудовании, эксплуатируемых в условиях Арктики и Крайнего Севера.

Применение математического моделирования [1, 2] для улучшения физико-механических характеристик полимерных композитов позволила авторам, совместно с сотрудниками АО “Научно-исследовательский институт полимерных материалов”, с наименьшими затратами создать морозостойкий материал на основе высокомолекулярного трехмерно спищего эластомера – полидивинилизопрена марки СКДИ-Л, пластифицированного диоктилсебацинатом и наполненного трёх-фракционным диоксидом кремния каучука со следующими характеристиками:

- полимер с молекулярной массой 286000, температурой стеклования 178 К, плотностью 900 кг/м³ и объемной долей 0,4;
- пластификатор с температурой стеклования 169 К, плотностью 910 кг/м³ и объемной долей 0,6;
- наполнитель – диоксид кремния с фракционным составом – фракция № 1 (1 мкм) с оптимальной объемной долей 0,2; фракция № 2 (8 мкм) с оптимальной объемной долей 0,3; фракция № 3 (240 мкм) с оптимальной объемной долей 0,5.

Цель исследования — создание экспериментально-теоретических основ структурно-механического поведения наполненных эластомеров, что необходимо для применения численных экспериментов, сокращающих сроки инженерных разработок и позволяющих экономить сырьё и материалы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ермилов А. С., Нуруллаев Э. М., Субботина Т. Э., Дурегин К. А. *Свидетельство № 20116153640 РФ. Математическое программное обеспечение прогнозирования физико-механических характеристик наполненных эластомеров (эластомер)*. Приоритет от 20.05.2011 г.
2. Ермилов А. С., Нуруллаев Э. М., Дурегин К. А. *Свидетельство № 2012613349 РФ. Программное обеспечение определения и оптимизации плотности упаковки твердых дисперсных наполнителей полимерных композиционных материалов (реология)*. Приоритет от 14.02.2012 г.

ИССЛЕДОВАНИЕ СКОРОСТИ КРУПНОТОННАЖНЫХ СУДОВ В АКВАТОРИИ СЕВЕРНОГО МОРСКОГО ПУТИ В ПЕРИОД ЗИМНЕЙ НАВИГАЦИИ

E. O. Ольховик

ФГБОУ ВО “ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова”, Санкт-Петербург

В акватории Северного морского пути (СМП) в последние годы отмечается увеличение общего числа нефтяных танкеров и танкеров для перевозки сжиженного природного газа (СПГ), их дедвейт составляет до 100 тысяч тонн. Данные суда имеют более высокий ледовый класс (Arc6-Arc7) и большую осадку (10-13 метров), постепенно увеличивается продолжительность навигации на СМП. Арктические порты Обской губы входят в режим штатной эксплуатации, продолжается строительство новых портовых гидротехнических сооружений. По прогнозным данным в 2018–2020 гг. в западной части СМП может одновременно находиться до 150 судов различного назначения в период летней навигации и до 40 в период зимней навигации.

В отличие от акваторий с открытой водой при регулировании движения крупнотоннажных судов в акватории СМП наряду с возможными столкновениями танкеров опасность представляют навалы танкеров на ледоколы, а также аварии, связанные со столкновением судна со льдом, ледовым сжатием, касанием грунта или посадкой на мель, все они потенциально опасны экологическими последствиями. Целью данной работы является исследование скоростных режимов СПГ-танкеров проекта Ямал-СПГ и нефтяных танкеров Новопортовского месторождения в период зимней навигации. Задача работы — определение скоростей движения танкеров на различных маршрутных участках от пролива Карские ворота - порты Обской губы и выявление факторов, влияющих на ограничение коммерческой скорости. Методы и материалы, применяемые в работе — сбор сведений о движении судов в акватории СМП с использованием данных спутниковой АИС, оперативной информации Администрации СМП и космоснимков. Были установлены маршруты движения танкеров, как для транзитного перехода СМП, так и в порты Сабетта, Новый порт. Произведен расчет средней скорости танкеров на отдельных участках СМП, произведено сравнение со скоростями при ледокольной проводке. Все результаты работы используются для построения геоинформационной системы морских транспортных потоков в акватории СМП.

СТРУКТУРА РАЗРУШЕНИЯ ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА, ЗУБЧАТОЕ НАСЛОЕНИЕ

H. M. Osipenko

Институт проблем механики им. А.Ю.Ишлинского РАН, Москва

Движение ледяного покрова во взаимодействии с естественными объектами и сооружениями на шельфе арктических морей приводит к развитию структур разрушения в локальном и региональном масштабах. При сжатии в ледяном покрове развиваются системы трещиноподобных структур разрушения — наслойений или торосов, ориентированных по нормали к сжимающим нагрузкам. Предельное равновесие таких элементов макроструктуры ледяного покрова определяется условиями разрушения материала в их концевой области. На основе обобщения проведенных ранее работ по исследованию условий и механизма нового вида разрушения — взаимного прорезания тонких пластин из одинакового материала — и натурных наблюдений ледяного покрова выделено несколько базовых ситуаций разрушения как части сценария инициирования и развития зубчатого наслойения ледяного покрова. Спецификой развития процесса в морском столбчатозернистом ледяном покрове на фронте взаимного прорезания контактирующих льдин является склонность к развитию сдвига вдоль оси зерен по их границам, к которым также приурочена система капиллярных пор [1].

Проведены эксперименты по моделированию внутренней задачи об инициировании продольного сдвига в капиллярно пористой среде, как ведущего фрагмента инициирования и развития зубчатого наслойения на модельных материалах, показавшие приуроченность разрушения к направлению оси капилляров и инициирование на них эшелона малых трещин оперения. В асимптотическом приближении показано, что в поле напряжений в окрестности капилляра-вершины продольного сдвига радиуса R на расстояниях $\sim 4R$ от начальной трещины оперения по оси вершины сдвига существует локальный максимум растягивающих напряжений, провоцирующий зарождение соседней трещины в эшелоне. В эксперименте на модельных материалах подтверждена такая линейная взаимосвязь между радиусом вершины сдвига и расстоянием между трещинами оперения. Проведена оценка соотношения эффективной трещиностойкости капиллярной структуры льда при продольном сдвиге и отрыве как функции пористости (n)

$$K_{IIIC}/K_{IC} \approx \pi^{0.5} n^{-0.25}.$$

Показана роль прорезания при зубчатом наслойении в регулировании локального напряженного состояния ледяного покрова.

Работа выполнена при поддержке Программы фундаментальных исследований Президиума РАН 1.3П “Фундаментальные проблемы океанологии: физика, геология, биология, экология”.

ЛИТЕРАТУРА

1. Осипенко Н.М., Ченцов А.В. Зубчатое наслойение. Механизм разрушения. Препринт ИПМех РАН № 1151, 2017. 28с.

РАЗВИТИЕ МОДЕЛИ ТРАНСПОРТА ПРОППАНТА В ТРЕЩИНЕ ГРП: УТЕЧКИ, БРИДЖИНГ, ПЕРЕХОД К ПЛОТНОЙ УПАКОВКЕ, СОПРЯЖЕНИЕ С МОДЕЛЬЮ РОСТА ТРЕЩИНЫ

*А. А. Осипцов¹, С. А. Боронин¹, К. И. Толмачева¹, Р. Ф. Муталова¹,
Д. Ю. Дербышев¹, И. А. Гарагаш^{1,2}, Е. В. Донцов^{1,3}, А. А. Ерофеев⁴,
Р. Н. Никитин⁴, А. Н. Байкин⁵, Г. В. Падерин⁶, А. А. Яковлев⁶*

¹*Сколковский Институт Науки и Технологий, Москва*

²*Институт физики земли РАН, Москва*

³*University of Houston, U.S.*

⁴*Инженерный центр МФТИ, Москва*

⁵*Институт гидродинамики им. М. А. Лаврентьева СО РАН, Новосибирск*

⁶*ООО “Газпромнефть НТЦ”, Санкт-Петербург*

В докладе представлено развитие модели транспорта проппанта в трещине гидро-разрыва пласта с учетом новых физических эффектов, которые существенно влияют на распределение проппанта в трещине ГРП после закрытия и на результирующую добычу на скважине. Модель сформулирована в рамках многоконтинуального подхода на основе приближения тонкого слоя. По сравнению с ранее опубликованной двухскоростной моделью [1],[2] учтены дополнительные эффекты: модель утечек в пласт в зависимости от давления в трещине, динамическая модель бриджинга частиц проппанта поперек трещины (с учетом баланса сил трения и гидродинамического взаимодействия), модель перехода суспензии к плотной упаковке. В численной реализации модели на языке С для решения уравнений переноса реализована схема TVD с ограничителем потоков. Параметрическое исследование позволило найти оптимальный ограничитель из более чем десяти доступных. Модель в том числе описывает оплыивание переднего фронта суспензии за счет гравитационной конвекции, формирование плотной упаковки на дне трещины и фильтрацию чистой жидкости через упаковку, развитие неустойчивости Сэффмана-Тэйлора на границе раздела жидкостей. В докладе обсуждается программный интерфейс для сопряжения (API) с геомеханической моделью роста трещины ГРП, а также пути валидации результирующей сопряженной модели относительно полевых данных.

Работа выполняется при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (проект №14.581.21.0027, уникальный идентификатор RFMEFI58117X0027); индустриальный партнер ООО “Газпромнефть НТЦ”.

ЛИТЕРАТУРА

1. Osipov A. A. *Fluid mechanics of hydraulic fracturing: a review*. Journal of Petroleum Science and Engineering. 2017. V. 156. pp. 513–535.
2. Boronin S. A., Osipov A. A. *Two-continua model of suspension flow in a hydraulic fracture*. Doklady Physics. 2010. V. 55(4). pp. 199–202.

МОДЕЛЬ PROXY PSEUDO3D: ПОСТРОЕНИЕ ПРОКСИ МОДЕЛИ РАЗВИТИЯ ТРЕЩИНЫ ГИДРОРАЗРЫВА (ГРП) В РАМКАХ ПСЕВДОТРЕХМЕРНОЙ ПОСТАНОВКИ

Г. В. Падерин

ООО “Газпромнефть НТЦ”, Санкт-Петербург

В докладе представлено развитие подхода построения прокси моделей трещины гидроразрыва пласта (ГРП) в предположениях Pseudo3D постановки. Из анализа подходов к построению моделей ГРП, например [1], прослеживается тенденция к постепенному усложнению моделей и учету большего количества достаточно тонких эффектов, что влечет за собой возрастающие требования к вычислительным мощностям.

Однако, при решении задач построения “интеллектуального” месторождения, формирования рейтинга бурения требуется проведение серийных расчетов для колоссального количества скважин и сценариев проведения ГРП, что ставит высокую планку по скорости расчетов для одной трещины ГРП и делает актуальным исследования по построению прокси Pseudo3D моделей ГРП.

Основным отличием разрабатываемого подхода Proxy Pseudo3D модели от численного подхода Cell-based Pseudo3D является применение упрощений, незначительно сказывающихся на точности расчетов, но позволяющих отказаться от численного решения нелинейного уравнения второго порядка в частных производных, что положительно сказывается на скорости вычислений.

По сравнению с ранее представленной работой [2] в докладе приводится расширение области применения модели на случай несимметричного распределения барьеров напряжений, увеличение числа слоев, а также некоторое уточнение контура трещины ГРП.

Разработанная прокси модель Pseudo3D может быть также эффективно использована в случаях, когда требуется разрешать одновременное развитие значительного числа трещин ГРП, например, при решении задач распространения сети трещин ГРП при моделирования ГРП на нетрадиционных коллекторах, либо в других трещиноватых структурах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хасанов М. М., Падерин Г. В., Шель Е. В., Яковлев А. А., Пустовских А. А. *Подходы к моделированию гидроразрыва пласта и направления их развития*. Нефтяное Хозяйство. 2017. № 12. С. 37–41.
2. Paderin G. V. *Modified Approach to Incorporating Hydraulic Fracture Width Profile in Unified Fracture Design Model*. SPE Russian Petroleum Technology Conference and Exhibition. 2016. SPE-182034.

НЕЛИНЕЙНАЯ МЕЗОМЕХАНИКА АРКТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

B. E. Панин^{1,2}, B. E. Егорушкин¹, N. С. Сурикова¹, Л. С. Деревягина¹, C. B. Панин^{1,2}

¹*Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск*

²*Национальный исследовательский Томский Политехнический Университет,
Томск*

1. В общепринятой мезомеханике материалов рассматриваются трансляционно-ротационные моды пластической деформации в иерархии масштабов [макро÷микро]. В настоящей работе теоретически и экспериментально показано, что в мезомеханике арктических материалов принципиально важную роль играет однородно распределенная кривизна кристаллической решетки и трансляционно-ротационные моды пластического течения в интервале мезомасштабов [микро÷нано] механизмом пластической дисторсии.

2. Разработана нелинейная калибровочная теория самосогласованного развития пластических ротаций на мезоскопических масштабных уровнях, учитывающая кривизну решетки и роль электронной подсистемы на наномасштабном уровне. Самоорганизация мезоскопических трансляционно-ротационных мод пластического течения в широком интервале масштабов [макро÷нано] лежит в основе высокоэффективных релаксационных процессов в арктических материалах в условиях низких температур.

3. Проведено систематическое экспериментальное исследование механического поведения арктических сталей с ОЦК и ГЦК структурами, в которых создано однородное распределение кривизны решетки. Показано сохранение высокой ударной вязкости материалов до температур минус 70°C, когда сталь с ОЦК структурой разрушается хрупко. Наномасштабная мезосубструктура в зонах кривизны решетки многократно повышает усталостную долговечность арктических сталей и исключает их хладноломкость.

ЛИТЕРАТУРА

- Panin V. E., Egorushkin V. E., Elsukova T. F., Surikova N. S., Pochivalov Y. I., Panin A. V. Multiscale Translation-Rotation Plastic Flow in Polycrystals. In: Schmauder S., Chen CS., Chawla K. et al *Handbook of Mechanics of Materials*. Springer, Singapore https://doi.org/10.1007/978-981-10-6855-3_77-1
- Sih G. C., Panin V. E., Panin S. V. *Multiscale mesomechanics of spacetime directional variance of energy absorbed and expelled*. Physical Mesomechanics. 2018. V. 20. No 4.

ЗАДАЧИ ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА В СНЕЖНО-ЛЕДОВОМ ПОКРОВЕ

A. A. Папин, M. A. Токарева

Алтайский государственный университет

Снежно-ледовый покров рассматривается как трехфазная сплошная среда, состоящая из воды, воздуха и льда. В основу математической модели положены уравнения сохранения массы для каждой из фаз, уравнения двухфазной фильтрации для воды и воздуха в подвижном пористом ледовом скелете, реологическое уравнение для пористости, баланс сил и уравнение сохранения энергии для системы “лед – вода – воздух” [1, 2, 3].

В докладе излагаются результаты аналитических и численных решений рассматриваемых задач.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 16-08-00291).

ЛИТЕРАТУРА

1. Sellers S. *Theory of water transport in melting snow with a moving surface*. Cold Regions Science and Technology. 2000. № 31. pp. 47–57.
2. Коробкин А. А., Папин А. А., Хабахпашева Т. И. *Математические модели снежно-ледового покрова в тающем снеге*. Барнаул. АлтГУ. 2013. 116 С.
3. Папин А. А., Юст Е. Ю. *Разрешимость модельной задачи сублимации льда в снежном покрове*. Известия АлтГУ. 2017. В. 1(93). С. 119–122.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЕРОЯТНОСТНЫХ ОЦЕНОК СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ НА ОСНОВЕ МЕТОДОЛОГИИ ОСР-97

C. A. Перетокин¹, Е. В. Бодякин², М. А. Курако³, К. В. Симонов²

¹*Институт вычислительных технологий СО РАН, Новосибирск*

²*Институт вычислительного моделирования СО РАН, Красноярск*

³*Сибирский федеральный университет, Красноярск*

Исследование посвящено разработке алгоритмического и информационного обеспечения для вероятностного анализа сейсмической опасности на основе методологии общего сейсмического районирования (ОСР-97) и построению карт-схем общего сейсмического районирования для Арктической зоны России.

Отметим, что работы последних лет в этой предметной области сосредоточены на совершенствовании моделей, закладываемых в расчет модели зон возникновения очагов землетрясений (зон ВОЗ) и модели сейсмического эффекта (МСЭ). Технология ВАСО используются как для построения карт ОСР, так и на стадии детальных

исследований в рамках инженерно-сейсмологических изысканий под строительство конкретных объектов. При этом, в соответствии с масштабом изысканий, выполняются детализация модели зон ВОЗ и корректировка модели сейсмического эффекта по региональным данным.

На протяжении 2010–2017 гг. выполнена модификация программного обеспечения расчетной технологии ОСР-97. В том числе, реализована возможность использования индивидуальных моделей затухания для элементов модели зон ВОЗ. Кроме того, реализована возможность расчета сейсмической опасности в пиковых ускорениях и амплитудах спектра реакции.

Модифицированное алгоритмическое обеспечение, реализованное в программе EAST-2016, предназначено для расчетов вероятностных оценок сейсмической опасности на основе методологии ОСР-97. Этот пакет является развитием комплекса программ PRB-60, разработанного А. А. Гусевым, В. М. Павловым и Л. С. Шумилиной в рамках работ по созданию комплекта карт общего сейсмического районирования РФ ОСР-97.

К функциональным возможностям пакета PRB-60 добавлены: функция деагрегационного анализа сейсмической опасности (процентный вклад в расчетное воздействие землетрясений с шагом по магнитуде и гипоцентральному расстоянию, процентный вклад в расчетное воздействие зон ВОЗ); возможность использования индивидуальных моделей затухания для зон ВОЗ; функция расчета обобщенного спектра реакции и вероятной длительности колебаний. Расчет обобщенных спектров реакции реализован как экспериментальная процедура на основе эмпирических зависимостей Ф. Ф. Аптикаева.

По результатам исследования построены карты-схемы (А, В, С) общего сейсмического районирования для Арктической зоны России.

ДИАГНОСТИРОВАНИЕ КРИТИЧЕСКИХ СОСТОЯНИЙ КОНСТРУКЦИЙ, ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ В УСЛОВИЯХ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР

П. П. Петров¹, В. П. Гуляев², М. М. Сибиряков², К. В. Степанова¹,
А. А. Платонов¹

¹Институт физико-технических проблем Севера им. В. П. Ларионова СО РАН,
Якутск

²Северо-Восточный федеральный университет им. М. К. Аммосова, Якутск

Вопросы диагностирования и прогнозирования критических состояний конструкций, эксплуатируемых в экстремальных природно - климатических условиях Арктики, недостаточно изучены.

Рентгеновской дифрактометрией установлены характерные изменения напряженно - деформированного состояния материала в области перед фронтом распространяющейся хрупкой трещины в образцах сталей и чугунов, применяемых для изготовления ответственных деталей горных машин. Угловые смещения пика и изменение

других характеристик дифракционного профиля рентгеновского излучения (уширение профиля), отраженного от номинально упруго деформированных областей материала, стабильно фиксируются. Характеристики дифракционных профилей, отраженных от поверхности образцов сталей и чугунов различного химического состава, качественно отличаются и указывают на инструментально определяемое влияние субструктурой сталей и чугунов на процессы их сопротивления зарождению и распространению трещин.

Экспериментально установлена эффективность использования метода рентгеновской деформометрии для неразрушающего контроля области концентрации напряжений с целью определения несущей способности и остаточного ресурса конструкций.

К ВОПРОСУ ОБ ИЗМЕНЕНИИ КЛИМАТА В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ РФ

С. А. Петров¹, Н. Л. Мамаева^{1,2}

¹Тюменский научный центр СО РАН

²Тюменский индустриальный университет

Для Пуровского района Ямало-Ненецкого автономного округа (ЯНАО) характерен континентальный климат. В последние годы в научных кругах обсуждаются вопросы об изменении климата, особенно в Арктической зоне РФ [1, 2]. В связи с вышеизложенным, цель нашей работы — провести сравнительный анализ климата почти за полвека (1938-1950 гг. и 2006-2010 гг.) на примере Пуровского района ЯНАО. Климатические данные были получены согласно Климатологическим справочникам СССР [3, 4] и по материалам сайта <https://grb.ru/Погода> [5] с метеостанции Тарко-Сале. Количественные данные подвергали статистической обработке с помощью программы “SPSS 11,5 for Windows”.

Установлено, что в последние годы наблюдается понижение среднемесячной температуры в холодный период года (в феврале при $\leq 0,05$) и повышение в теплый период (в июле при $\leq 0,01$), причем среднегодовая температура воздуха ($-5,51 \pm 0,4^{\circ}\text{C}$ и $-5,31 \pm 0,14^{\circ}\text{C}$ соответственно) и амплитуда температурных колебаний практически не изменились. При анализе среднегодового количества осадков за 2006-2010 гг. по сравнению с 1938-1950 гг. обнаружено их увеличение примерно на 50 мм, причем за холодный период 2006-2010 гг. наблюдается увеличение количества осадков примерно в 1,4 раза. При исследовании ветрового режима, который оказывает существенное влияние на рассеивание загрязняющих веществ в атмосфере, нами обнаружено, что в последние годы стало в 2,8 раза меньше число случаев без ветра, скорость ветра как за холодный (кроме февраля месяца), так и за теплый периоды достоверно стала ниже. Преобладающее направление ветра за 1938-1950 гг. было Ю, СЗ, а за 2006-2010 гг. - ЮЮЗ, ССЗ.

Таким образом, в Пуровской области за анализируемый период (≈ 50 лет) отсутствуют признаки глобального потепления климата. Тем не менее, климат стал мягче с увеличением как количества осадков, так и перераспределением их за счет холодного периода года. В данном направлении работа будет продолжена.

Работа выполнена по госзаданию, согласно Плану НИР ТюмНЦ СО РАН на 2018-2020 годы, протокол № 2 от 8.12.2017 (Приоритетное направление IX.133. Программа IX.133.1. Проект: IX.133.1.4. Криобиологические процессы на суще и в прибрежной части Карского моря в условиях повышения среднегодовых температур).

ЛИТЕРАТУРА

1. Давыдов А.Н., Михайлова Г.В. *Изменение климата и условия жизни в Арктике в восприятии ненцев острова Вайгач*. Экология человека. 2013. № 2. С. 29–34.
2. Шац М.М., Скачков Ю.Б. *Климат Севера: потепление или похолодание?* Климат и природа. 2016. № 2(19). С. 27–37.
3. *Климатологический справочник СССР*. Выпуск 17. Метеорологические данные за отдельные годы. Часть I: Температура воздуха. Часть II: Осадки. Часть III: Снежный покров / под ред. А.А. Шумановой. Ленинград: Гидрометеорологическое издательство, 1956.
4. *Климатологический справочник СССР*. Выпуск 17. Метеорологические данные за отдельные годы. Часть IV: Ветер / под ред. А.А. Шумановой. Ленинград: Гидрометеорологическое издательство, 1961.
5. Расписание Погоды. Режим доступа: <https://rp5.ru/Погода>

НАРУЖНЫЕ ЛЕДОВЫЕ УСИЛЕНИЯ СУДОВ ЛЕДОВОГО ПЛАВАНИЯ

Н. Г. Пец

Дальневосточный федеральный университет, Владивосток

Предметом предлагаемой статьи является методика повышения ледовой прочности корпуса с помощью наружных усилений. Ледовые усиления вообще для российского коммерческого флота являются актуальной темой, но традиционные мероприятия (замена обшивки, установка промежуточного набора) дорогостоящи и требуют большого объема подготовительных работ. Наружные усиления являются альтернативой, лишенной таких недостатков.

Как правило, наружные усиления выполняются в виде профильного проката различной формы (чаще всего – полукруг), привариваемого к наружной обшивке. Преимуществами наружных усилений перед традиционными являются: меньшая стоимость установки, отсутствие необходимости в дорогостоящих подготовительных работах, защита обшивки от внешних воздействий, возможность в широком диапазоне варьировать интервал установки и параметры подкреплений, а также устанавливать подкрепления в тех отсеках, где установка их внутри корпуса невозможна или слишком затратна.

Несмотря на ряд преимуществ, практика применения этой технологии невелика, широкому ее использованию препятствует отсутствие регламентации со стороны классификационных сообществ. Однако имеющийся опыт позволяет говорить об ее эффективности [1, 2].

Число теоретических работ в этой области так же ограничено. Существующие разработки [2, 3] посвящены двум аспектам: влиянию наружных усилий на увеличение прочности корпуса и снижению износа обшивки. На основании формул, полученных в [3], можно сделать вывод, что установка наружных сегментов в наиболее часто используемой конфигурации позволяет снизить износ наружной обшивки от действия льда до 30%. При этом прочность подкрепленного участка обшивки возрастает на 30-40%, что на практике достаточно для повышения ледовой категории до приемлемого уровня. С учетом более низкой, чем у традиционных способов, стоимости работ по установке, можно утверждать, что наружные усиления являются новаторским и перспективным видом усилий корпуса судна, для его широкого внедрения в практику необходим тщательный теоретический анализ и регламентация со стороны классификационных сообществ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Козаков Е. В., Каленчук С. В., Котлярова И. А., Сидоренко И. С. *Повышение ледовых качеств реклассифицированных судов*. Вологдинские чтения, № 71. Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2008. С. 119–123.
2. Кулеш В. А., Огай С. А., Пец Н. Г. *Проект ледовых усилий сухогрузного судна*. Морские интеллектуальные технологии. Научный журнал. СПб: НИЦ “МОРИН-ТЕХ”. 2017. № 3(37). Т. 2. С. 64–70.
3. Kulesh V. A. *Improving operational reliability of ice reinforcements of vessels hulls*. Asia-Pacific Journal of Marine Science and Education. 2013. V. 3. No. 1. pp. 9–14.

ПОЛУЧЕНИЕ ГИДРАТОВ МЕТАНА В ЗАМОРОЖЕННЫХ КРИОГЕЛЯХ ПОЛИВИНИЛОВОГО СПИРТА.

Л. С. Поденко¹, А. О. Драчук¹, Н. С. Молокитина¹, А. Н. Нестеров^{1,2}

¹Институт криосферы Земли ТюмНЦ СО РАН, г. Тюмень

²Тюменский государственный нефтегазовый университет

Перспективной альтернативой ныне используемых технологий хранения и транспортирования природного газа являются газогидратные технологии. Для получения и хранения газовых гидратов требуются относительно низкие температуры и повышенное давление. Использование низких температур позволяет уменьшить давление, необходимое для образования гидратов. В связи с ростом добычи и потребления природного газа на Крайнем Севере актуальной становится задача развития газогидратных технологий, эффективных в условиях холодного климата. Однако, низкая скорость и степень перехода воды в газовый гидрат при температурах ниже 0 градусов Цельсия и недостаточная устойчивость материалов, предназначенных для получения гидратов, к процессам образования/диссоциации газовых гидратов, сдерживает разработку таких технологий.

Нами проведены исследования, направленные на развитие научных основ и повышение эффективности технологий получения гидратов природного газа в статических условиях при отрицательных температурах.

Впервые изучена кинетика образования гидрата метана в дисперсиях замороженных криогелей (ЗК) поливинилового спирта (ПВС), стабилизированных наночастицами гидрофобизированного диоксида кремния. Криогели ПВС представляют собой макропористые гетерофазные студни, образующиеся в результате замораживания и последующего оттаивания водного концентрированного раствора полимера. Показано, что в отличие от водного раствора ионогенного ПАВ (додицилсульфата натрия) — материала перспективного для применения в газогидратных технологиях, образование гидрата природного газа в дисперсиях ЗК ПВС проходило без задержки, которую принято называть индукционным периодом гидратообразования. Индукционный период гидратообразования для водных растворов ПАВ достигал десятков часов (при сопоставимых условиях получения гидратов). Определена скорость и степень перехода воды в гидрат метана для дисперсий ЗК ПВС и молотого льда при одинаковых термодинамических условиях с использованием одного и того же оборудования. Установлено, что переход в гидрат основной массы воды, содержащейся в дисперсиях ЗК ПВС, происходит более чем в десять раз быстрее, чем в дисперсном льду.

В результате проведенных исследований показана устойчивость дисперсий криогелей водных растворов ПВС, стабилизированных наночастицами гидрофобизированного диоксида кремния, к процессам образования/диссоциации газовых гидратов, что позволяет их многократное использование для получения газовых гидратов без значительного снижения степени перехода воды в гидрат.

Работа выполнена по госзаданию, согласно Плану НИР ТюМНЦ СО РАН на 2018-2020 годы. Проект: IX.135.2.3. Молокитина Н. С. благодарит Совет по грантам Президента РФ за предоставленную Стипендию президента РФ СП-3113.2018.1.

ЛЕДЯНЫЕ БЛОКИ НА СНЕГОВОДЯНОЙ ОСНОВЕ

С. Н. Попов, О. Н. Буренина, А. В. Андреева, М. Е. Саввинова, С. С. Даваасенгэ

Институт проблем нефти и газа СО РАН, г. Якутск

Ледяные блоки являются наиболее дешёвым материалом для строительства временных сооружений в арктических условиях.

Выпиливание блоков льда из ледовых покровов водоёмов является весьма трудоёмким процессом и осложняется необходимостью обеспечения необходимой размерной точности. Замораживание воды в формах характеризуется продолжительностью замерзания воды, сложностью извлечения блока при его примерзании к поверхности формы и возможностью разрушения формы из-за объёмного расширения при ледообразовании.

Технология изготовления ледяных блоков значительно упрощается при использовании в качестве сырья снеговодяных смесей. Перед замораживанием в форму заливается вода, добавляется снег и перемешивается с водой до получения однородной массы. Затем смесь уплотняется, поверхность разравнивается, извлекается из формы и замораживается в свободном состоянии. Оптимальным содержанием снега в смеси является 40-60% от общей массы. Прочность при сжатии таких блоков при температуре минус 20°C составляет от 3,1 МПа до 6,4 МПа, что вполне достаточно для строительства малоэтажных зданий и сооружений.

Разброс геометрических размеров полученных образцов блоков достаточно стабилен и не превышает 1,5%, что соответствует стандартизованным требованиям по точности для мелкоштучных строительных материалов.

При кладке стен из полученных блоков в качестве связующего раствора возможно применение снеговодяной смеси. Допускается укладка незамороженных блоков из форм прямо в стену без связующего раствора толщиной не более одного слоя. Следующий слой при этом укладывается на предыдущий после его замерзания.

Для повышения прочности и теплозащитных свойств получаемых из снеговодяной смеси ледяных блоков возможно дополнительное введение в их состав армирующих и теплоизолирующих добавок. При этом из-за высокой вязкости смеси практически не наблюдается опускание на дно тяжёлых армирующих добавок или вскрытие лёгких теплоизолирующих.

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА С УПРУГИМ ТЕЛОМ С УЧЕТОМ УСЛОВИЯ НЕПРОНИКАНИЯ

E. B. Пяткина

Институт гидродинамики им. М. А. Лаврентьева СО РАН, Новосибирск

Задачи контакта упругих и абсолютно твердых тел — это достаточно подробно изученная область [1, 2]. Однако такие задачи, как правило, рассматриваются в предположении, что форма и размер области плотного прилегания тел известны. Также решались задачи нахождения размера заданной области контакта [2].

Введение условия непроникания для вертикальных прогибов избавляет от необходимости предполагать заранее, какой будет форма области контакта [3]. Именно с использованием этого подхода в настоящей работе рассматриваются случаи взаимодействия ледяного покрова с упругим и жестким телом. Ледяной покров моделируется тонкой упругой пластиной. Рассмотрены случаи разных поверхностных нагрузок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Григорюк Э. И., Толкачев В. М. *Контактные задачи теории пластин и оболочек*. М.: Машиностроение, 1980.
2. Дмитриев С. Н. *Аналитическое решение контактной задачи об упругих деформациях тонкой пластины, помещенной в цилиндрическую полость*. Наука и образование. 2013. № 1. DOI: 10.7463/0113.0517977
3. Хлуднев А. М. *Задача о контакте двух упругих пластин*. ПММ. 1983. Т. 47. № 1. С. 140–146.

ЗАВИСИМОСТЬ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗРУШЕНИЯ ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА РЕЗОНАНСНЫМ МЕТОДОМ ПРИ ПАРНОМ ДВИЖЕНИИ СУДОВ НА ВОЗДУШНОЙ ПОДУШКЕ ОТ ГЛУБИНЫ ВОДОЕМА

E. Г. Рогожникова¹, В. М. Козин²

¹Амурский гуманитарно-педагогический государственный университет,
Комсомольск-на-Амуре

²Институт машиноведения и металлургии ДВО РАН, Комсомольск-на-Амуре

Известно, что при движении по поверхности льда внешних нагрузок в ледяном покрове возникает система изгибо-гравитационных волн (ИГВ), при определенной интенсивности которых можно добиться частичного либо полного разрушения льда или сохранить несущую способность ледяного покрова, избегая опасных проявлений изгибо-гравитационного резонанса. Толщина льда, разрушаемого ИГВ, зависит от массы нагрузки. В известных исследованиях рассматривалось движение одиночной нагрузки [1-6]. Однако, при выполнении ледокольных работ одиночной нагрузкой ее массы может оказаться недостаточно для разрушения ледяного покрова заданной толщины, в таких случаях эффективность ледокольных работ можно повысить за счет одновременного использования двух и более нагрузок, т.е. за счет интерференции возбуждаемых ИГВ.

В работе выполнено экспериментально-теоретическое исследование влияния глубины водоема, взаимного расположения и расстояния между нагрузками на интенсивность возбуждаемых ИГВ при их движении по ледяному покрову. В качестве внешних нагрузок использовались схематизированные модели амфибийных судов на воздушной подушке (СВП). Модель ледяного покрова приготавливалась путем намораживания льда заданной толщины естественным холодом. Масштаб моделирования составил $\lambda_l = 1 : 50$. Теоретические исследования проведены на основании решения дифференциального уравнения малых колебаний плавающей вязко-упругой пластины под действием внешней нагрузки [7].

Приведены зависимости, позволяющие повысить эффективность разрушения ледяного покрова при движении по нему двух СВП.

ЛИТЕРАТУРА

- Погорелова А. В. Особенности волнового сопротивления СВПА при нестационарном движении по ледяному покрову. ПМТФ. 2008. Т. 49. № 1. С. 89–99.
- Ткачева Л. А. Воздействие периодической нагрузки на плавающую упругую пластину. Изв. РАН. МЖГ. 2005. № 2. С. 132–146.
- Ткачева Л. А. Плоская задача о колебаниях плавающей упругой пластины под действием периодической внешней нагрузки. ПМТФ. 2004. Т. 45. № 3. С. 136–145.
- Squire V. A., Hosking R. J., Kerr A. D., and Langhorne P. J. *Moving Loads on Ice Plates*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. 1996.
- Wang K., Hosking R. J., and Milinazzo F. Time-dependent response of a floating viscoelastic plate to an impulsively started moving load. J. Fluid Mech. 2004. V. 521. Pp. 295–317.

6. Takizawa T. *Response of a Floating Sea Ice Sheet to a Moving Vehicle*. Proc. Fifth International Offshore Mechanics and Arctic Engineering Symp. Tokio. 1986. V. 4. Pp. 614–621.
7. Хейсин Д. Е. *Динамика ледяного покрова*. Л.: Гидрометеоиздат. 1967, 216 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ ОБТЕКАНИЯ ЛЬДОМ ПРЕПЯТСТВИЙ НА ЛОЖЕ ЛЕДНИКОВ

Л. М. Саватюгин¹, В. П. Епифанов²

¹*Арктический и Антарктический НИИ, Санкт-Петербург*

²*Институт проблем механики им. А. Ю. Ишлинского РАН, Москва*

Реология льда в придонных слоях ледников определяется сочетанием различных факторов [1]. В наиболее простом случае, сухого фрикционного контакта, главными факторами являются адгезионная и когезионная прочность льда в условиях сдвига при гидростатическом сжатии, структура льда, термодинамические условия и геометрические характеристики контактной поверхности [2]. Очевидно, что математический аппарат и модели, основанные на принципах механики однородных сред, не пригодны для адекватного описания реологии льда в придонных слоях ледников, особенно в случаях концентрации напряжений на препятствиях разной формы, находящихся на подстилающей поверхности. Поэтому был разработан комплексный подход к исследованию деформационных изменений структуры и разрушения льда с помощью акустических методов. Для этого в ИПМех РАН был создан измерительный комплекс на основные виды механических испытаний льда в широком интервале температур и скоростей деформации и с рабочим диапазоном частот от 20 Гц до 100 МГц.

Анализируются результаты двух серий измерений. В первой серии исследуется процесс перехода от трения покоя к трению скольжения льда, примороженного к осесимметричным подложкам (гладким и с неровностями определённого вида). Во второй серии в матрице высокого давления (сопло Лаваля) сначала формируется лёд со структурой промежуточного слоя, который затем направляется в канал цилиндрического сечения, где размещены препятствия разного вида [3]. Результатом этой серии испытаний является визуализация скоростей в ледяной струе, а также измерение осевой силы и скорости её движения как функции температуры для фиксированного типа препятствий. В обоих случаях осуществляется акустический мониторинг процессов деформации, адгезионного и когезионного разрушения льда.

Постановка задачи исследования и анализ движения льда в первом приближении соответствует широкому классу задач о выдавливании неньютоновской и вязкопластической среды с малым пределом текучести из конфузоров [4] и практическим приложениям, учитывающим контактное разрушение льда на препятствии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Епифанов В. П., Саватюгин Л. М. *Акустические исследования абляционного слоя на примере ледника Альдегонда (Шпицберген)*. Проблемы Арктики и Антарктики. 2011. № 4(90). С. 87–98.

2. Епифанов В. П., Саватюгин Л. М. *Влияние препятствий на ложе на движение ледника*. Проблемы Арктики и Антарктики. 2013. № 2(96). С. 55–66.
3. Epifanov V.P. *The Effect of Stress Pulses on the Structure of Ice in an Intermediate Layer*. Doklady Physics. 2018. V. 63. No.4. pp. 151–155.
4. Акуленко Л. Д. и др. *Деформирование вязкопластической среды Бингама в плоском конфузоре*. Изв. РАН. МТТ. 2003. № 4. С. 183–197.

АНАЛИЗ УПРУГИХ ВОЛН, ГЕНЕРИРУЕМЫХ В МЕРЗЛЫХ ГРУНТАХ ИМПУЛЬСНЫМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ИСТОЧНИКОМ “ЕНИСЕЙ”

B. M. Садовский¹, O. B. Садовская¹, B. A. Детков²

¹*Институт вычислительного моделирования СО РАН, Красноярск*

²*ОАО “Енисейгеофизика”, Красноярск*

Электромагнитный источник сейсмических колебаний “Енисей” представляет собой невзрывной поверхностный импульсный источник с силовым электромагнитным приводом, который содержит один, два или четыре синхронно работающих короткоходовых электромагнита с автономной системой питания от емкостного накопителя электрической энергии и устройства для заряда и разряда [1]. Источник существует в колесном, санном, мобильном и водном вариантах. Он конкурентоспособен в сравнении с источниками взрывного и вибрационного типа по эффективности и качеству производства разведочных работ и имеет неоспоримые преимущества в экономическом и экологическом аспектах. В процессе создания, доработки и совершенствования эксплуатационных и технических характеристик источник “Енисей” был подвергнут тщательному экспериментальному анализу и тестированию.

В настоящей работе представлена вычислительная технология, ориентированная на многопроцессорные вычислительные системы кластерной архитектуры, конечной целью которой является детальное математическое моделирование волновых полей, генерируемых источником в блочно-слоистых геосредах с различными механическими характеристиками блоков. Вычислительные эксперименты, проведенные на основе разработанных математических моделей, численных алгоритмов и компьютерных программ [2], показали, что предлагаемая технология позволяет с высокой степенью детализации и точности в пространственной постановке воспроизвести систему волн вблизи областей возбуждения сейсмических колебаний электромагнитным источником “Енисей”. Необходимым условием для этого является по возможности более точное задание локализованной нагрузки от источника. Результаты расчетов могут быть использованы при отработке оптимальных режимов функционирования источника, когда механические характеристики поверхностного контактного слоя меняются в широком диапазоне от твердых и мерзлых грунтов с включениями горной породы до сыпучих и глинистых водонасыщенных сред. Численный анализ волнового поля вблизи области возбуждения позволяет также получить осредненные данные, необходимые для адекватного моделирования локализованного импульсного воздействия

от источника при использовании упрощенных математических моделей для расчета синтетических сейсмограмм отраженных волн на большом протяжении и глубине залегания разнородных слоев в сложнопостроенных геосредах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Детков В. А., Щадин П. Ю., Ивашин В. В. *Импульсные электромагнитные сейсмоисточники “Енисей”: особенности технического решения и применения*. Приборы и системы разведочной геофизики. 2007. Т. 22. № 4. С. 30–33.
2. Садовская О. В., Садовский В. М. *Математическое моделирование в задачах механики сыпучих сред*. М.: Физматлит, 2008.

МЕТОДИКА ВОССТАНОВЛЕНИЯ СОСТАВА СИНГЕНЕТИЧНЫХ ВОД МЕЗОЗОЙСКИХ ОСАДОЧНЫХ БАССЕЙНОВ

Я. В. Садыкова

*Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН,
Новосибирск*

Состав современных пластовых вод значительно отличается от состава сингенетичных вод древних бассейнов, изменения начинаются уже на стадии диагенеза. Для восстановления первоначального химизма была предложена методика палеогидро-геохимических реконструкций, основанная на палеогеографических исследованиях, сравнительно-литологическом анализе и естественно-историческом подходе. Можно выделить две группы факторов, определяющих направленность изменения химического состава вод в ходе геологической эволюции осадочного бассейна: 1) определяющие генетический тип и состав исходных вод — литолого-фациальный, палеогеографический, палеоклиматический; 2) контролирующие последующие после захоронения изменения химического состава подземных вод — температура, давление, динамика и геохимия среды, влияние инфильтрационного питания, взаимодействие в системе “вода-порода-газ-ОВ”.

Для реконструкций состава вод древних морских бассейнов были обобщены результаты исследований современного химизма океанических и иловых вод, поглощенного комплекса глин, палеонтологии и палеоклиматологии.

Изучение состава современных морских и океанических вод позволяют сделать вывод о том, что максимальная соленость погребенных вод мезозойских бассейнов не превышала 38 г/дм³, по составу преобладали хлоридные натриевые воды.

Первоначальный состав инфильтрационных вод был реконструирован по среднему составу речных, болотных и озерных вод и геохимии зоны гипергенеза. Детальный анализ результатов исследований континентальных и прибрежно-морских осадков в обстановках с semiаридного климата показал, что инфильтрационный водообмен приводил к формированию пресных преимущественно гидрокарбонатных кальциевых вод с общей минерализацией от 0,5 г/дм³ до 6 г/дм³.

Методика была успешно апробирована в Арктическом регионе (Гыданская, Пуртазовская, Енисей-Хатангская, Анабаро-Хатангская, Лено-Анабарская и Лаптевская нефтегазоносные области (НГО)) и в южных районах Западно-Сибирского бассейна (Каймысовская и Васюганская НГО).

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и Правительства Новосибирской области в рамках научного проекта № 17-45-543249.

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СНЕЖНОГО ПОКРОВА НА ЛЕДОВОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ СУДОВ

K. E. Сазонов

Крыловский государственный научный центр, Санкт-Петербург

Проблема влияния снежного покрова на ледовое сопротивление судна общеизвестна. Наиболее остро она стоит при анализе результатов натурных испытаний судов, предпринимаемых для подтверждения заявленных при проектировании их ледовых качеств. На эмпирическом уровне учет влияния слоя снега проводится путем введения приведенной толщины льда, которая представляет собой сумму толщины льда и толщины слоя снега, умноженной на некоторый коэффициент. У различных авторов величина этого коэффициента варьируется от 1/3 до 1.5, при этом в российской практике обычно используется значение коэффициента равного единице.

Теоретический анализ различных физических процессов, действие которых потенциально могло привести к увеличению ледового сопротивления при наличии снега, показал, что наиболее вероятной причиной может служить возрастание силы трения. Часто считают, что коэффициент трения снега по стали превышает аналогичный коэффициент для льда. Тем не менее, анализ литературных источников показывает, что коэффициенты трения для льда и снега близки.

Автором предложен (“Полярная механика – 2016”) новый, ранее не рассматривавшийся, гидростатический механизм увеличения силы трения льдин о корпус судна при наличии на них слоя снега. В докладе этот механизм применен для оценки ледового сопротивления ледокола. На основании проведенных расчетов проанализировано влияние на сопротивление основных факторов: толщины слоя и плотности снега. Получены оценки для коэффициента, используемого при определении приведенной толщины льда.

ИСТОРИКО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ НАФТИДОГЕНЕЗА В МЕЗОЗОЙСКО-КАЙНОЗОЙСКОМ ОСАДОЧНОМ БАССЕЙНЕ СЕВЕРО-ВОСТОКА БОЛЬШЕХЕТСКОЙ МЕГАСИНКЛИЗЫ (БАССЕЙНОВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ)

П. И. Сафонов, А. А. Дешин, Л. М. Бурштейн

*Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука
СО РАН, Новосибирск*

Территория исследования расположена на северо-востоке Западной-Сибирской нефтегазоносной провинции. Наиболее крупными тектоническими элементами, выделяемыми в кровле верхнеюрского структурного яруса изучаемого района, являются Северо-Тазовская мегавпадина, осложняющая северо-восточную часть Большехетской мегасинклизы, и Мессояхская наклонная гряда.

Целью исследования являлось восстановление динамики генерации углеводородов основными нефтегазопроизводящими толщами на основе историко-геологического подхода.

Была построена трехмерная модель мезозойско-кайнозойского осадочного чехла. Размер изучаемого полигона составил 360·340 км. Температурная история отложений восстановлена на основе сопоставления расчётной и фактической карт катагенеза органического вещества в кровле юрских отложений [1].

В качестве нефтегазопроизводящих толщ были рассмотрены обогащённые органическим веществом преимущественно глинистые отложения баженовского, малышевского, лайдинского, китербютского и зимнего горизонтов.

В соответствии со шкалой катагенеза [2], был построен набор карт времен прохождения НГПТ стадий катагенеза. Суммарный объём генерированных газообразных углеводородов составил 388 трлн м³. Большая часть углеводородных газов была образована органическим веществом китербютского - 49%, зимнего - 18% и малышевских - 13% горизонтов. Суммарное количество генерированной нефти составило 438 млрд тонн. Доли жидких углеводородов, генерированных в отложениях китербютского, малышевского, баженовского, лайдинского и зимнего горизонтов составили 38%, 33%, 20%, 5% и 4% соответственно.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 18-35-00451).

ЛИТЕРАТУРА

1. Фомин А. Н. *Катагенез органического вещества и нефтегазоносность мезозойских и палеозойских отложений Западно-Сибирского мегабассейна*. Новосибирск: ИНГГ СО РАН, 2011.
2. Конторович А. Э. *Геохимические методы количественного прогноза нефтегазоносности*. М.: Недра, 1976.

ОСОБЕННОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ГИДРАТОВ ПРИРОДНОГО ГАЗА ИЗО ЛЬДА В РЕАКТОРАХ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

M. E. Семенов¹, И. К. Иванова^{1,2}, В. В. Корякина¹

¹*Институт проблем нефти и газа СО РАН, Якутск*

²*Северо-Восточный федеральный университет им. М. К. Аммосова, Якутск*

В настоящее время в отечественной литературе крайне мало публикаций, касающихся разработки технологий получения гидратов природного газа (ГПГ) для их последующей транспортировки. В публикациях приводятся только теоретически разработанные блок-схемы синтеза гидратов [1]. Однако, в [2] отмечается, что гидратный способ транспортировки и хранения природного газа на территории РФ перспективен и найдет свою нишу как дополнение к существующим технологиям.

Целью настоящей работы является изучение особенностей формирования гидратов природного газа, получаемых в закрытых реакторах изо льда методом термоциклирования.

Установлено, что в отсутствии внешних динамических воздействий на реакционную систему образуются гидраты, которые по морфологическим признакам можно разделить на три вида: мелкодисперсный гидратный порошок; крупнокусковой гидрат; и гидрат в форме нитевидных кристаллов — наростов. В результате проведенных экспериментальных работ установлено влияние режима термоциклирования на форму получаемых гидратов: снижение скорости цикла нагревания/охлаждения приводит к увеличению доли нитевидных наростов в гидрате. На основании измерения массы и изучения различных форм, синтезированных ГПГ, установлено массовое распределение различных форм гидратов в реакторе. Как показали эксперименты по разложению, газосодержание синтезированных гидратов непосредственно зависит от их формы.

Следовательно, варьируя режимом термоциклирования можно получать газовые гидраты природного газа изо льда с заданной морфологией и высоким удельным газосодержанием. Результаты исследования могут послужить научной основой для разработки газогидратных технологий для транспортировки и хранения природного газа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Якушев В. С., Квон В. Г., Долгаев С. И., Поденок С. Е., Истомин В. А. *Гидратные технологии для газификации регионов России*. Газовая промышленность. 2009. № 640. С. 75–79.
2. Истомин В. А. *Физико-химические основы и проблемы разработки газогидратных технологий*. М.: ООО Газпром экспо, 2010.

ОСОБЕННОСТИ ГЕОХИМИИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД НЕФТЕГАЗОНОСНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ПОЛУОСТРОВА ЯМАЛ

K. V. Сесь

*Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН,
Новосибирск*

Особенности гидрогеологического строения, геотермических, гидродинамических и гидрогохимических условий Западно-Сибирского осадочного бассейна (ЗСОБ) отражены в трудах Г. Д. Гинсбурга, Ю. Г. Зимины, Л. М. Зорькина, В. Н. Корценштейна, А. А. Карцева, А. Э. Конторовича, Н. М. Кругликова, А. Р. Курчикова, В. М. Матусевича, В. В. Нелюбина, Д. А. Новикова, Б. П. Ставицкого, О. Н. Яковлева и других [1-3].

В пределах нефтегазоносных отложений полуострова Ямал развиты хлоридные натриевые, хлоридно-гидрокарбонатные натриевые, гидрокарбонатно-хлоридные натриевые воды, с величиной общей минерализации от 2 до 51 г/дм³. На полуострове выявлено два принципиально разных типа вертикальной гидрогохимической зональности: инверсионная - на юге и прямая - на севере. Установленные гидрогохимические аномалии являются следствием геологической эволюции осадочного бассейна. Одной из основных причин инверсии гидрогохимического поля на юге полуострова Ямал следует считать области питания (инфилтратации) прибрежных районов ЗСОБ, и за счет этого значительную степень промытости отложений осадочного чехла. Значения величины общей минерализации в апт-альб-сеноманском водоносном комплексе составляют от 2 до 22 г/дм³, в неокомском изменяются от 2 до 25 г/дм³, в нижезалегающем юрском комплексе разброс значений общей минерализации очень велик и изменяется от 3-15 до 40-51 г/дм³.

Установлено, что изученные подземные воды находятся на начальной стадии метаморфизации химического состава. Предварительно установлены седиментогенные, литогенные (термодегидратационные), древние инфильтротропные и конденсатогенные воды. В прибрежных частях преобладают древние инфильтротропные, смешанные с седиментогенными, доминирующими во всех гидрогеологических комплексах. На современном этапе развития водонапорной системы велика роль разбавления их литогенными и локально распространенными конденсатогенными. Наиболее метаморфизованными являются слабые рассолы "Малыгинского типа".

ЛИТЕРАТУРА

1. Кругликов Н. М. *Гидрогеология Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна и особенности формирования залежей*. Л.: Недра, 1985.
2. Новиков Д. А. *Перспективы нефтегазоносности среднеюрских отложений полуострова Ямал по гидрогеологическим данным*. Геология нефти и газа. 2013. № 6. С. 65–74.
3. *Геология и полезные ископаемые России. В шести томах. Том 2. Западная Сибирь*. Под ред. А. Э. Конторовича, В. С. Суркова. СПб.: ВСЕГЕИ, 2000.

ОСОБЕННОСТИ ПРОЯВЛЕНИЯ ЭФФЕКТА САМОКОНСЕРВАЦИИ ГИДРАТА МЕТАНА В НЕФТЯХ

*A. A. Сизиков¹, Д. М. Полюхов¹, А. С. Стогорев^{1,2,3}, Алтунина Л. К.⁴,
A. Ю. Манаков^{1,3}*

¹Институт неорганической химии им. А. В. Николаева СО РАН, Новосибирск

²РГУ нефти и газа имени И. М. Губкина, Москва

³Новосибирский государственный университет

⁴Институт химии нефти СО РАН, Томск

В настоящее время при нефте- и газодобыче значительные затраты связаны с предотвращением формирования газогидратных пробок и их ликвидацией на добывающих скважинах и в промысловых трубопроводах [1, 2]. При этом, как ранее было показано [3, 4], совместные отложения гидратов и компонентов нефти могут существовать продолжительное время в условиях отрицательных температур, благодаря эффекту самоконсервации.

В данной работе изучены новые особенности образования и разложения подвергшегося самоконсервации гидрата метана, полученного в эмульсиях вода/нефть (Снежное (CH) и Мамонтовское (M) месторождения нефти, 1:1 по массе) с учетом толщины слоя и наличием или отсутствием ПАВ при приготовлении эмульсии. Основные эксперименты по наработке и разложению гидратов проводились в специально сконструированных автоклавах с тарелками-держателями образца (1 или 8 штук) для моделирования условий остановки потока и изучения влияния диффузии газа через нефть. Разложение гидрата проводилось в диапазоне температур от -20 до -5°C. Установлено, что в условиях экспериментов наблюдается значительная самоконсервация суспензии гидрата в нефти M, тогда как для нефти CH проявление данного эффекта не происходит, что может быть связано с наличием/отсутствием непрореагированной свободной воды в образце и наличием ПАВ Span 80.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект 17-17-01085).

ЛИТЕРАТУРА

1. Sloan E. D., Koh C. A. *Clathrate hydrates of natural gases. 3rd edition.* London, New-York, Boca Rator: CRC Press, 2008.
2. Истомин В. А., Кwon В. Г. *Предупреждение и ликвидация газовых гидратов в системах добычи газа.* М.: ООО “ИРЦ Газпром”. 2004.
3. Stoporev A. S., Manakov A. Yu., Altunina L. K., etc. *Unusual Self-preservation of Methane Hydrate Particles in Oil Suspensions.* Energy Fuels. 2014. V. 28. Pp. 794–802.
4. Stoporev A. S., Manakov A. Yu., Altunina L. K., etc. *Self-Preservation of Gas Hydrate Particles Suspended in Crude Oils and Liquid Hydrocarbons: Role of Preparation Method, Dispersion Media, and Hydrate Former.* Energy Fuels. 2016. V. 30(11). Pp. 9014–9021.

СОПРЯЖЕНИЕ МОДЕЛИ РОСТА ТРЕЩИНЫ ГРП ЕР3Д С МОДЕЛЬЮ ТРАНСПОРТА ПРОППАНТА

*A. M. Скопинцев^{1,2}, A. N. Байкин^{1,2}, П. В. Ковтуненко², E. V. Донцов³,
C. B. Головин^{1,2}*

¹*Новосибирский государственный университет*

²*Институт гидродинамики им. М. А. Лаврентьева СО РАН, Новосибирск*

³*University of Houston, Houston*

Технология гидроразрыва пласта (ГРП) является наиболее распространенным способом повышения дебита нефтяных скважин, особенно при освоении трудноизвлекаемых запасов углеводородов. Динамика трещины ГРП обусловлена закачкой в нее вязкой жидкости, которая создает давление на стенках, достаточное для преодоления горного давления и разрыва горной породы. С целью предупреждения смыкания под действием горного давления трещины гидроразрыва в трещину закачивается вязкий гель с примесью твердых частиц (проппант). Для оптимизации проведения ГРП при разработке месторождений необходимо предварительное математическое моделирование, описывающее совокупный физический процесс распространения трещины с закачкой проппанта.

В настоящей работе описывается сопряжённая модель геомеханики трещины ГРП и гидродинамики суспензии геля с проппантом внутри трещины. Раскрытие трещины ГРП описывается моделью Enhanced Pseudo-3D Model (EP3D) [1], в которой устремлены основные слабые стороны классической Р3Д модели: вязкостная диссиpация энергии при росте трещины в высоту, трещиностойкость и нелокальная упругость горной породы учитываются по всему периметру трещины. Двумерная динамика проппанта описывается в односкоростном приближении с использованием эффективной вязкости, зависящей от концентрации проппанта. Гидравлика течения жидкости по трещине определяется законом сохранения массы в приближении теории смазки.

В докладе обсуждаются вопросы, касающиеся численной реализации алгоритма сопряжения: переход между подвижной сеткой, использующейся в EP3D, и фиксированной расчетной областью в алгоритме переноса проппанта; подвижность области занятой трещиной, в которой вычисляется перенос проппанта; подбор оптимального численного алгоритма для гиперболического уравнения переноса; согласование физических величин каждой из моделей (давление, вязкость, утечки).

На основании проведенных численных экспериментов представлены характерные картины, показывающие взаимное влияние переноса проппанта и раскрытия трещины. В частности, описываются режимы, в которых происходит локальное или полное запирание потока в силу нарастания концентрации проппанта из-за фильтрационных утечек жидкости.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (грант №2016-220-05-2642).

ЛИТЕРАТУРА

1. Dontsov E. V., Peirce A.P. *An enhanced pseudo-3D model for hydraulic fracturing accounting for viscous height growth, non-local elasticity, and lateral toughness.* J. Engineering Fracture Mechanics. 2015. V. 142. pp. 116–139.

ЗАМЕРЗАНИЕ КАПЕЛЬ МИНЕРАЛИЗОВАННОЙ ВОДЫ ПРИ ЗИМНЕМ ДОЖДЕВАНИИ

A. B. Сосновский, A. F. Глазовский

Институт географии РАН, Москва

Интенсивное хозяйственное освоение Арктики привело к загрязнению сточными водами водных объектов. Для очистки и опреснения больших объемов природных и техногенных вод, в том числе для целей водоснабжения населения, необходимо использование экономичных технологий, основанных на применении возобновляемых видов природной энергии. Наши исследования показали, что одним из наиболее экономичных способов опреснения и очистки больших объемов минерализованной воды является метод капельного вымораживания. Метод основан на применении дальне-струйных дождевальных установок для создания капельного факела и формирования массивов пористого льда. Производительность намораживания в Арктической зоне может достигать 100 тыс. тонн пористого льда за месяц при работе одной дождевальной установки. В настоящее время зимнее дождевание широко применяется для строительства ледяных переправ и автозимников. Эксперименты с соленой водой и расчеты показали, что применение метода капельного вымораживания позволяет еще на стадии намораживания снизить минерализацию массива пористого льда в 10-12 раз. В процессе замерзания капли воды соли вытесняются в центральное незамерзшее ядро капли. При падении на землю и разрушении ледяной оболочки капли незамерзший рассол фильтруется за пределы массива пористого льда, что значительно снижает минерализацию массива. При увеличении минерализации исходной воды растет минерализация незамерзшей центральной части капли, понижается температура замерзания и, как следствие, снижается производительность намораживания. Для оценки производительности намораживания пористого льда из соленой и морской воды выполнено математическое моделирование замерзания капель пресной и соленой воды в условиях свободного падения при отрицательных температурах атмосферного воздуха. При этом на фронте промерзания принималось условие Стефана. Были рассмотрены разные варианты роста минерализации незамерзшей части капли при ее промерзании. Для капель воды с минерализацией 35 г/л и диаметром 1,5 мм время замерзания от 50 до 75 % объема капли увеличивается на 20 - 40%, по сравнению с пресной водой при температуре воздуха -10°C и на 9 - 22% при температуре воздуха -30°C.

Работа выполнена при поддержке программы президиума РАН № 56 “Фундаментальные основы прорывных технологий в интересах национальной безопасности”.

ЗАДАЧА ОПТИМИЗАЦИИ ГИДРОРАЗРЫВА ПЛАСТА

*Б. Н. Старовойтова¹, С. В. Головин¹, Г. В. Падерин², Е. В. Шель², А. М. Кривцов³,
Е. В. Кавунникова⁴*

¹*Институт гидродинамики им. М. А. Лаврентьева СО РАН, Новосибирск*

²*ООО “Газпромнефть НТЦ”, Санкт–Петербург*

³*Санкт–Петербургский политехнический университет Петра Великого*

⁴*Новосибирский государственный университет*

Одним из распространенных методов повышения добычи углеводородов при разработке нефтяных и газовых месторождений является метод гидроразрыва пласта (ГРП). Ввиду высокой стоимости ГРП на первый план выходит вопрос об экономической целесообразности его применения ([1, 2, 3]). Возникает следующая задача оптимизации: подобрать технологические параметры процесса ГРП (объем и время закачки, реология используемых жидкостей, концентрация проппанта и т.д.), при которых характеристики получаемых трещин (длина и ширина) соответствуют достижению целевых показателей, таких как максимальный уровень добычи, максимальный уровень доходов от операции ГРП на основе расчета чистой дисконтированной стоимости или минимальный уровень затрат на операцию ГРП при фиксированном уровне добычи.

В работе представлена модель оптимизации ГРП, которая учитывает взаимосвязи между модулем, задающим геометрию трещины, модулем определения уровня добычи углеводородов и модулем, описывающим экономические показатели “вложение–отдача” денежных потоков. Связь технологических параметров процесса ГРП и роста трещины описывается двумерной моделью Христиановича – Гиртсма – де Клерка (KGD). Задача оптимизации решается в рамках многокритериального подхода с использованием генетического алгоритма. Определены свободные параметры оптимизации и сформулированы различные конструктивные ограничения. Данный подход проиллюстрирован на примере слабо проницаемого нефтяного пласта. Результаты исследования могут быть использованы при проектировании дизайна гидроразрыва пласта и выборе скважин–“кандидатов” на его проведение.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (Соглашение о предоставлении субсидии №14.581.21.0027 от 03.10.2018 г., уникальный идентификатор RFMEFI58117X0027). Индустриальный партнер проекта — ООО “Газпромнефть НТЦ”.

ЛИТЕРАТУРА

1. Виноградова И. А. *Исследование экономической эффективности гидроразрыва пласта*. Нефтяное хозяйство. 2004. № 4. С. 24–31.
2. Balen R. M., Mens H.-Z., Economides M. J. *Applications of the Net Present Value (NPV) in the Optimization of Hydraulic Fractures*. SPE Paper 18541 presented at the SPE Eastern Regional Meeting in Charleston. USA. 1988. P. 181–191.
3. Rahman M.M., Rahman M.K., Rahman S.S. *An integrated model for multiobjective design optimization of hydraulic fracturing*. J.Pet. Sci. Eng. 2001. V. 31. P. 41–62.

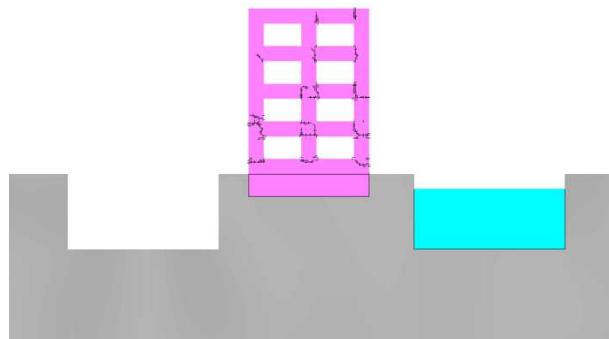
ЧИСЛЕННОЕ ПОЛНОВОЛНОВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ УПРУГИХ ВОЛН В СЛОЖНОЙ ГЕТЕРОГЕННОЙ СТРУКТУРЕ ОБЪЕКТА И ВО ВМЕЩАЮЩЕМ ГЕОЛОГИЧЕСКОМ МАССИВЕ

П. В. Стогний¹, А. В. Фаворская²

¹Московский физико-технический институт (государственный университет),
Долгопрудный

²Научно-исследовательский институт системных исследований РАН, Москва

Сейсмическая активность в Арктической зоне является негативным природным фактором, влияющим на безопасность жилых и промышленных сооружений [1]. При этом для Арктики характерны нетипичные условия контрастных акустических границ в грунтах, таких как обледенелые почвы, льды, газовые карманы [2]. Для решения данной проблемы в работе реализована модель разрушения жилого дома, окруженного различными объектами (бассейн, озеро, газовые карманы) при воздействии сейсмических нагрузок. На рисунке представлен пример разрушения в здании рядом с оврагом и рекой.



Все вычисления проводились с помощью сеточно-характеристического метода [3], который позволяет в области интегрирования явно выделять граничные и контактные граничные, к которым относятся и области разрушения, и особенности гетерогенной структуры геологических пород и рассматриваемого объекта.

Исследование выполнено в Негосударственном образовательном учреждении “Учебно - научно-производственный комплекс Московского физико-технического института” за счет гранта Российского научного фонда (проект № 17-71-20088).

ЛИТЕРАТУРА

1. Антоновская Г. Н., Конечная Я. В., Морозов А. Н. *Сейсмическая активность арктической зоны: новые данные по западному сектору*. Проблемы Арктики и Антарктики. 2013. № 2(96). С. 16–24.
2. Богоявленский В. И., Тупысев М. К., Титовский А. Л., Пушкирев В. А. *Рациональное природопользование в районах распространения газовых залежей в верхней части разреза*. Научно-технический сборник “Вести газовой науки”. 2016. № 2(26).

3. Favorskaya A. V., Petrov I. B., Golubev V. I., Khokhlov N. I. *Numerical simulation of earthquakes impact on facilities by grid-characteristic method*. Procedia Comput Science. 2017. Т. 112. С. 1206–1215.

ИЗУЧЕНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ ГИДРАТНОЙ ПРОБКИ В ЭМУЛЬСИИ ВОДЫ В НЕФТИ НА ПРИМЕРЕ ГИДРАТА ДИОКСИДА УГЛЕРОДА

A. С. Стопорев^{1,2,3}, Л. К. Алтунина⁴, А. Ю. Манаков^{2,3}

¹*РГУ нефти и газа имени И. М. Губкина, Москва*

²*Институт неорганической химии им. А. В. Николаева СО РАН, Новосибирск*

³*Новосибирский государственный университет*

⁴*Институт химии нефти СО РАН, Томск*

Один из всплесков исследований газовых гидратов был связан с обнаружением проблем образования гидратных пробок при нефтегазодобыче [1], что может приводить к существенным финансовым и экологическим угрозам [2]. Процесс образования газовых гидратов в нефтяных дисперсиях начинается с формирования тонкой пленки гидрата на поверхности капли воды, после чего его рост ограничивается диффузией гидратообразующего компонента к зоне протекания реакции (внутрь капли через гидратную корку) [3]. Перекачка по трубопроводу такого рода суспензии может приводить к агломерации гидратных частиц и формированию гидратной пробки [1].

Изучение формирования газогидратной пробки в проточном реакторе проводилось на примере гидрата углекислого газа. Момент образования пробки отслеживался по падению давления на выходе из реакционной зоны за счет сужения просвета реакционной трубы. Достижение постоянного давления при стационарном режиме прокачки указывало на формирование устойчивого льдо-гидратного образования на стенках реактора. Прогрев системы выше 0°C позволял подтвердить формирование гидратной (льдо-гидратной), а не ледяной, пробки. Полученный образец извлекался по методике, предложенной на основании обнаруженного ранее явления эффективной самоконсервации мелкодисперсных частиц гидратов в нефтях [3]. Анализ полученных образцов показал, что массовое содержание гидрата в подобных пробках составляет от 2.5 до 7.9 % .

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект 17-17-01085).

ЛИТЕРАТУРА

1. Sloan E. D. *Natural gas hydrates in flow assurance*. Gulf Professional Publishing. 2010.
2. Sloan E. D., Koh C. A. *Clathrate hydrates of natural gases. 3rd edition*. London, New-York, Boca Rator: CRC Press, 2008.
3. Christiansen R. L., Sloan E. D. *Mechanisms and kinetics of hydrate formation*. Ann N Y Acad Sci. 1994. V. 715(1). Pp. 283–305.

4. Stoporev A. S., Manakov A. Yu., Altunina L. K., etc. *Self-Preservation of Gas Hydrate Particles Suspended in Crude Oils and Liquid Hydrocarbons: Role of Preparation Method, Dispersion Media, and Hydrate Former*. Energy Fuels. 2016. V. 30(11). P. 9014–9021.

ВЛИЯНИЕ НЕФТЕШЛАМОВ, ПРОДУКТОВ НЕФТЕПЕРЕРАБОТКИ И ДРУГИХ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ НА РАЗЛОЖЕНИЕ ГИДРАТА МЕТАНА

A. С. Стопорев^{1,2,3}, А. П. Семенов¹, А. Ю. Манаков^{2,3}, В. А. Винокуров¹

¹РГУ нефти и газа имени И. М. Губкина, Москва

²Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, Новосибирск

³Новосибирский государственный университет

Влияние состава и свойств компонентов сложных смесей на стабилизацию/дестабилизацию находящихся в этих смесях кристаллических веществ в настоящее время интенсивно исследуется в различных областях науки и техники [1]. Вопрос влияния вспомогательных компонентов на разложение газовых гидратов практически не освещен в литературе, особенно при температурах ниже 0°C [2-4]. В то же время, понимание физико-химических процессов взаимодействия гидратов с различными веществами на стадии диссоциации позволит разработать методы управления устойчивостью гидратов.

В данной области была проведена поисковая работа с целью выявления классов соединений, обеспечивающих проявление самоконсервации гидрата метана. Были изучены следующие соединения и субстанции: асфальтены, смолы, асфальтосмоловопарафиновые отложения, парафины, многослойные углеродные нанотрубки, метагидроксибензойная кислота, (4-гидрокси-2-метил-N-(5-метил-2-тиазолил)-2H-1,2-бензотиазин-3-карбоксамид 1,1-диоксид (мелоксикам), продукты нефтепереработки (исходные и отработанные). Индивидуальные соединения и компоненты нефти практически не оказывают влияния на процесс разложения гидрата метана, тогда как некоторые продукты нефтепереработки проявляют близкую с нефтями эффективность по отношению к самоконсервации гидрата метана и могут быть использованы для снижения газопотерь при создании технологии транспортировки газа в гидратном состоянии.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект 17-77-10051).

ЛИТЕРАТУРА

1. Бернштейн Дж. *Полиморфизм молекулярных кристаллов*. М.: Наука. 2007.
2. Lv Y.N., Jia M.L., Chen J., etc. *Self-Preservation Effect for Hydrate Dissociation in Water plus Diesel Oil Dispersion Systems*. Energy Fuels. 2015. V. 29(9). Pp. 5563–5572.
3. Stoporev A. S., Manakov A. Yu., Altunina L. K., etc. *Self-Preservation of Gas Hydrate Particles Suspended in Crude Oils and Liquid Hydrocarbons: Role of Preparation Method, Dispersion Media, and Hydrate Former*. Energy Fuels. 2016. V. 30(11). Pp. 9014–9021.

4. Sato T., Takeya S., Nagashima H. D., etc. *Preservation of carbon dioxide clathrate hydrate coexisting with sucrose under domestic freezer conditions.* J. Food Eng. 2014. V. 120. Pp. 69–74.

ДВИЖЕНИЕ ОБЛАСТИ ДАВЛЕНИЯ ПО СВОБОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ЖИДКОСТИ ВБЛИЗИ КРАЯ ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА

И. В. Стурова, Л. А. Ткачева

Институт гидродинамики им. М. А. Лаврентьева СО РАН, Новосибирск

Изучение волновых процессов в море с плавающим ледяным покровом представляет не только теоретический, но и прикладной интерес при оценке влияния льда на волновые характеристики, а также волнового воздействия на стационарные и движущиеся объекты. Движение области внешнего давления по свободной поверхности жидкости или по безграничному ледяному покрову достаточно полно изучено и получены точные (в линейной постановке) выражения для характеристик вынужденных поверхностных и изгибо-гравитационных волн, а также волнового сопротивления. Подробное изложение этих результатов можно найти в [1]. Однако в реальных ситуациях ледяной покров может покрывать не всю верхнюю границу жидкости, а только ее часть. Ранее изучено поведение полубезграничного ледяного покрова под действием равномерно движущейся внешней нагрузки [2] - [5].

В докладе представлено аналитическое решение стационарной задачи о поведении полубезграничного ледяного покрова и жидкости под действием локальной области внешнего давления, равномерно движущейся по свободной поверхности жидкости вдоль прямолинейного края ледяного покрова. Такая задача возникает, например, при движении судна на воздушной подушке (СВП). Задача решается в линейной постановке, жидкость предполагается идеальной и несжимаемой, а ее движение – потенциальным. Ледяной покров моделируется тонкой изотропной упругой пластиной, плавающей на поверхности жидкости постоянной глубины. Решение строится с помощью преобразования Фурье и метода Винера-Хопфа. Определены возвышения ледяного покрова и свободной поверхности, а также силовые характеристики (волновое сопротивление и боковая сила), действующие на движущееся СВП при различных скоростях его движения: докритических и сверхкритических относительно минимальной фазовой скорости изгибо-гравитационных волн в ледяном покрове.

ЛИТЕРАТУРА

1. Букатов А. Е. *Волны в море с плавающим ледяным покровом.* Севастополь: ФГБУН МГИ. 2017. 360 с.
2. Sturova I. V., Tkacheva L. A. *Wave motion in a fluid under an inhomogeneous ice cover.* Journal of Physics: Conference Series. 2017. V. 894. P. 1–8.
3. Стурова И. В. *Движение внешней нагрузки по полубесконечному ледяному покрову в докритическом режиме.* Изв. РАН. МЖГ. 2018. № 1. С. 51–60.

4. Ткачева Л. А. *Поведение полубесконечного ледяного покрова под действием равномерно движущейся нагрузки*. ПМТФ. 2018. Т. 59. № 2. С. 82-98.
5. Ткачева Л. А. *Волновое движение в ледяном покрове с трещиной при равномерном движении нагрузки*. Изв. РАН. МЖГ. (принята в печать).

ВЯЗКО-ХРУПКИЙ ПЕРЕХОД В ГЕОМАТЕРИАЛАХ, ОБУСЛОВЛЕННЫЙ КОНЦЕНТРАЦИЕЙ РАСТЯГИВАЮЩИХ НАПРЯЖЕНИЙ

C. B. Сукнев

Институт горного дела Севера им. Н. В. Черского СО РАН, Якутск

Проблема вязко-хрупкого перехода является ключевой в арктическом материаловедении. Она непосредственно связана с изменением прочностных и пластических свойств материала при понижении температуры. Но переход от вязкого к хрупкому типу разрушения может быть связан не только с температурными эффектами, но также с влиянием таких конструктивных факторов, как концентрация напряжений, геометрия элемента конструкции, условия его нагружения.

Выполнен анализ возможности применения известных нелокальных и градиентных критериев разрушения для описания хрупкого, квазихрупкого и вязкого разрушения материалов с вырезами. Общим свойством этих критериев является введение внутреннего размера материала, характеризующего его структуру, что позволяет описать масштабный эффект в условиях концентрации напряжений и тем самым расширить область применения по сравнению с традиционными критериями. Вместе с тем показано, что эта область ограничена случаями хрупкого, либо квазихрупкого разрушения с малой зоной предразрушения. Для расширения области применения критериев на случаи разрушения с развитой зоной предразрушения предложено отказаться от гипотезы о размере этой зоны, как о константе материала, связанной только с его структурой. Размер зоны предразрушения представляется в виде суммы двух слагаемых, одно из которых характеризует собственно структуру материала, а второе – зону неупругих деформаций, размер которой определяется конструктивными особенностями элемента (форма, размер выреза, условия нагружения) и пластическими свойствами материала. От соотношения этих размеров зависит, какой механизм разрушения (хрупкий или вязкий) будет реализован. Пластические свойства, определяющие вязкий характер разрушения, начнут проявляться только тогда, когда размер зоны неупругих деформаций превысит характерный размер структуры материала. В противном случае пластическая зона мала и разрушение носит хрупкий характер.

Предложен ряд новых критериев разрушения, являющихся развитием критериев средних напряжений, напряжений в точке, фиктивной трещины, а также градиентного критерия и содержащих комплексный параметр, характеризующий размер зоны предразрушения и учитывающий не только структуру материала, но также пластические свойства материала, геометрию образца и условия его нагружения. Получены выражения для критического давления в задаче об образовании трещин отрыва при

сжатии в образцах геоматериалов с круговым отверстием. Результаты расчётов хорошо согласуются с экспериментальными данными о разрушении гипсовых плит. Кроме того, применение разработанных критериев позволило объяснить наблюдаемую в эксперименте смену характера разрушения с хрупкого на вязкий при увеличении размера отверстия.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта № 18-05-00323).

РЕГИОНАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ ЯМАЛЬСКОЙ И ГЫДАНСКОЙ НГО

Е. С. Сурикова, А. Е. Соломин, С. М. Гусева

*Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН,
Новосибирск*

Настоящая работа посвящена анализу геологического строения полуостровов Ямал и Гыданский по результатам комплексной интерпретации данных сейсморазведки 2D и глубокого бурения.

В последние годы особое внимание как государственных геологических программ, так и нефтегазовых компаний уделяется индустриальной и ресурсной базе Северных и Арктических территорий, центры газодобычи Западной Сибири смешаются на Крайний Север. Именно здесь, в пределах Ямальского и Тазовского районов ЯНАО, расположена территория исследования. В нефтегазоном плане район занимает Ямальскую и Гыданскую НГО. На территории полуострова Ямал открыто 32 месторождения углеводородов (УВ), самыми крупными из которых являются Южно-Тамбейское, Бованенковское, Харасавэйское, Круженштерновское, Арктическое и др., на Гыданском полуострове открыто 17 месторождений УВ, в том числе Салмановское, Гыданское, Геофизическое, Западно-Мессояхское и др. В тектоническом плане по карте юрского структурного яруса территория п-ова Ямал представляет собой мегамоноклизу (Пайхойско-Новоzemельскую), осложненную положительными замкнутыми высокоамплитудными структурами 2-3 порядков; в свою очередь территория п-ва Гыданский соответствует Антипаютинско-Тадебяхинской мегасинеклизе.

Анализ региональных временных сейсмических разрезов и данных глубокого бурения района позволил выделить все, традиционно выделяемые в Западной Сибири, сейсмогеологические комплексы: палеозойский, триасовый, юрский, берриас- нижне-аптский, апт-сеноманский и турон-кайнозойский, которые в кровле и подошве ограничены сейсмическими реперными горизонтами: А' (подошва осадочного чехла), Кт (китербютская свита), Б (кровля баженовской свиты), М (нейтинская пачка), Г (кузнецковская свита) [1].

Анализ структурных карт по сейсмическим реперным горизонтам показал, что структура осадочного чехла п-ова Ямал по всем отражающим сейсмическим горизонтам представляет собой моноклизу, осложненную высокоамплитудными положительными структурами 2 и 3 порядков, амплитуды которых вверх по разрезу увеличиваются. Структура осадочного чехла п-ова Гыданский по отражающим горизонтам юры и нижнего мела представляет собой мегасинеклизу, осложненную Гыданским КП, Геофизическим мезовалом и Мессояхскими поднятиями; по отражающим горизонтам верхнего мела и кайнозоя - моноклиналь. Структуры Ямальской НГО более

контрастны по кайнозойским отражающим горизонтам, по сравнению со структурами Гыданской НГО. Структуры п-ова Гыданский выполаживаются вверх по разрезу, так как кайнозойские процессы структурообразования в пределах Гыданской НГО проходили менее интенсивно.

Палеотектонический анализ показал, что до раннего мела территория Гыданской НГО испытывала тенденцию к относительному прогибанию, в мел-кайнозойское время — к относительному воздыманию; территории Ямальской НГО на протяжении всей истории развития испытывает тенденцию к относительному воздыманию, причем максимальный рост и формирование современного облика антиклинальных структур наблюдается в кайнозое.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 18-35-00492).

ЛИТЕРАТУРА

1. Конторович В. А., Аюнова Д. В. и др. *История тектонического развития арктических территорий и акваторий Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции*. Геология и геофизика. 2017. Т. 58. № 3–4. С. 423–444.

КРИОПЭГИ АРКТИЧЕСКИХ РАЙОНОВ СИБИРИ

А. Ф. Сухорукова¹, Д. А. Новиков^{1,2}

¹Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН,
Новосибирск

²Новосибирский государственный университет

При разведке и освоении месторождений углеводородов арктических районов Сибири получено большое количество фактического материала по условиям залегания и закономерностям формирования криолитозоны, химическому составу подземных вод, что позволило подойти к теоретическим исследованиям проблемы криогенного преобразования гидросферы, сформулировать главные положения криогенной метаморфизации химического состава природных вод. Целью данной работы является рассмотрение основных результатов в изучении уникальных природных объектов - криопэгов (высокоминерализованных вод и рассолов с отрицательными температурами до - 12° С) [3].

Целый комплекс проблем, обусловленных сплошным распространением криогенной толщи (местами мощностью до 700-800 м и более) в арктических районах Сибири, которая представляет собой региональный флюидоупор и предопределяет большую группу инженерно-геологических, геокриологических и экологических проблем, возникающих при освоении и эксплуатации месторождений в результате техногенной деградации мерзлоты и непосредственного влияния отрицательных температур, криопэгов на разведочные и эксплуатационные скважины. Установлено, что подземные воды гидрогеологических структур, в различной степени промороженных, обладают весьма разнообразными условиями формирования, питания и стока. Следствием этого является большое разнообразие состава и минерализации этих вод, изменяющейся от первых грамм на литр до 300 г/дм³ и более [4].

Представляет интерес сравнение особенностей генезиса и состава неглубокозалегающих криопэгов хлоридного натриево-магниевого состава, выявленных в пределах нефтегазовых месторождений полуострова Ямал (Харасавейское, Бованенское и другие) [1], для которых характерны температуры от - 1 до - 8° С и минерализация до 150 г/дм³, и криопэгов Анабаро-Хатангского бассейна, которые характеризуются наличием соляно-купольных структур и, как следствие, развитием высокоминерализованных рассолов и криопэгов хлоридного натриевого состава с минерализацией до 330 г/дм³ (Нордвикская, Ильинская, Кожевниковская площади) [2].

ЛИТЕРАТУРА

1. *Криосфера нефтегазоконденсатных месторождений полуострова Ямал: в 3 т.* Под общей ред. Ю. К. Васильчука, Г. В. Крылова, Е. Е. Подборного. Тюмень ООО "ТюменьНИИгипрогаз": Недра. С.-Петербург. Отделение. 2006.
2. Новиков Д. А., Сухорукова А. Ф. *Высокоминерализованные воды полуострова Юрюнг-Тумус.* Сборник материалов VIII международного научного конгресса "ГЕО-Сибирь-2012". Новосибирск. СГГА. 2012. Т. 1. С. 109–113.
3. Романовский Н. Н. *Подземные воды криолитозоны.* М.: МГУ, 1983.
4. Фотиев С. М. *Криогенная метаморфизация химического состава и подземных вод.* Известия вузов. Геология и разведка. 2002. № 1. С. 113–122.

О ПРЕИМУЩЕСТВАХ ГАЗО-ВЗРЫВНЫХ МЕТОДОВ ВСКРЫТИЯ ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА НА РЕКАХ

B. C. Тесленко

Институт гидродинамики им. М. А. Лаврентьева СО РАН, Новосибирск

Широко используемым методом предотвращения ледовых заторов на реках в периоды весенних паводков является взрывной. При этом используются бризантные взрывчатые вещества (ВВ), преимущественно тротил (ТНТ). Известно, что при этом в акваториях произведения взрывных работ происходит массовая гибель рыбы, флоры и фауны. Это связано с тем, что при взрывах тротила генерируется амплитуда ударной волны $\sim 10^8$ Па, с радиальным затуханием. При этом в ударную волну переходит 50% энергии взрыва, остальная энергия тратится на гидродинамическое движение жидкости за счет расширения и пульсаций пузыря с газовыми продуктами [1,2]. Для сравнения: при взрывах газовых зарядов амплитуда исходной ударной волны может составлять $\sim 10^5$ Па, при этом уносимая ударной волной энергия находится в пределах 2-6% [3,4]. Эти относительные сравнения позволяют рассматривать перспективность разработки новых технологий вскрытия ледовых покровов на реках с целью уменьшения воздействия на биологическую среду. Замена бризантных зарядов на газовые уменьшает объем зоны поражения в 10^3 - 10^4 раз при одинаковой массе зарядов. Например, если за порог поражения рыбы ударной волной принять $P_f = 5 \cdot 10^5$ Па, то при взрыве 1 кг тротила радиальная зона поражения рыбы составляет 100 метров. Для эквивалентного взрыва газовой смеси зона поражения рыбы

находится в пределах 3 метров. Если за порог поражения подводной фауны принять $P_f = 0,35 \cdot 10^5$ Па [5], то радиальная зона поражения от взрыва 1 кг тротила составляет 1500 метров.

Представленные предварительные экспериментальные результаты по разрушению ледового покрова показали позитивную перспективность применения газо-взрывных методов разрушения ледового покрова на реках и на “заморных” озерах. Преимущества газо-взрывных методов вскрытия ледового покрова, по сравнению с бризантными ВВ, определяются: 1) существенным уменьшением поражающего фактора для водной фауны, 2) возможностью “коврового” вскрытия ледового покрова, 3) возможностью создания автоматизированных и дистанционно управляемых систем вскрытия ледового покрова, 4) существенным уменьшением материальных затрат на средства взрывания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Коул Р. *Подводные взрывы*. Москва, 1950.
2. Кедринский В. К. *Гидродинамика взрыва эксперимент и модели*. Новосибирск, 2000.
3. Когарко С. М., Попов О. Е., Новиков А. С. *Подводный взрыв газовой смеси как источник волн давления в жидкости*. ФГВ. 1975. Т. 11. № 5. С. 759–767.
4. Попов О. Е., Когарко С. М. *Сравнительная характеристика волн давления при подводных взрывах газообразных и конденсированных ВВ*. ФГВ. 1977. Т. 13. № 6. С. 926–929.
5. Левин В., Корбков В. *Под водой – биологи*. <http://www.karelia2010.ru/vvode/84.html>

ГАЗО-ИМПУЛЬСНЫЙ ВОДНЫЙ ДВИЖИТЕЛЬ ДЛЯ ЗАСОРЕННЫХ АКВАТОРИЙ И АРКТИКИ

B. С. Тесленко, А. П. Дрожжин, Р. Н. Медведев

Институт гидродинамики им. М. А. Лаврентьева СО РАН, Новосибирск

Самым уязвимым устройством на средствах водного транспорта является винтовой движитель, который повреждается при ударах о твердые объекты в воде. Существует много способов защиты от повреждений винтов, но полной гарантии защиты винта от повреждений нет. Эта проблема предопределяет поиск других методов генерации тяги для водного транспорта и специальных средств перемещения на воде габаритных объектов, платформ, барж, льдин.

В данной работе рассматривается перспективный водный движитель без винтов – газо-импульсный водный движитель, в котором тяга обеспечивается за счет импульсно-циклического сжигания горючих газов непосредственно в воде на тяговой стенке [1]. К настоящему времени проведены экспериментальные работы по методам генерации тяги для различных макетов, с измерениями их удельной тяги [2].

В данной работе показаны преимущества методов генерации тяги на плоской стенке, в сравнении с водометными вариантами. Из результатов экспериментов и расчетов следует, что средняя удельная тяга для случаев сжигания газа на плоской

тяговой стенке без боковых границ может превосходить среднюю удельную тягу для цилиндрических стволов.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ и Правительства Новосибирской области (грант № 18-48-540011).

ЛИТЕРАТУРА

1. Тесленко В. С., Дрожжин А. П., Медведев Р. Н., Мандрик М. С. *Способ получения тяги*. Патент № 2557337 от 29.05.2014.
2. Тесленко В. С., Дрожжин А. П., Медведев Р. Н. *Сжигание газов в воде для генерации тяги*. Теплофизика и аэромеханика. 2017. Т. 24. № 4. С. 599–608.

ОСОБЕННОСТИ ОЧИСТКИ ВОДОЕМОВ ОТ НЕФТЕПРОДУКТОВ В УСЛОВИЯХ СЛОЖНОЙ ЛЕДОВОЙ ОБСТАНОВКИ

A. K. Тюльканов, С. В. Петрашев

Морской Государственный Университет имени адмирала Г.И. Невельского

В докладе освещаются проблемы загрязнения морей нефтепродуктами. Представлены различные способы очистки водоемов от нефти и нефтепродуктов, приведены их особенности и недостатки. Описана проблема очистки водоемов от нефтепродуктов в условиях колотого и сплошного льда. Предложена технология использования сорбента в специфических условиях. Рассматриваются принципиальные схемы для создания и подачи сорбента с плотностью в 40 раз ниже плотности воды в поток жидкости.

Актуальность проблемы. На сегодняшний день развития науки и техники не существует отработанной и общепринятой методики очистки морей от нефтепродуктов в условиях колотого и сплошного льда. Мы предлагаем разработанную нами методику расчета, а также схему установки по вводу сорбента в виде пульпы в подледное пространство. Таким образом, удастся локализовать загрязнение и как следствие снизить класс опасности.

Благодаря решению данной проблемы, удастся сохранить окружающую среду арктических морей на высоком уровне и снизить экологические риски от деятельности человека.

Согласно Постановлению Правительства РФ №794 от 30 декабря 2003 г. необходимо обеспечить техническими средствами локализации и очистки от нефтеразливов платформы, добывающие нефть, нефтеналивные терминалы, а также суда, перевозящие нефть и нефтепродукты. Малоэффективные способы очистки сдерживают развитие арктического шельфа, где в силу специфических условий невозможно применить способы очистки, которые работают в благоприятных климатических условиях.

Заключение. На основе выше изложенного можно сделать вывод, что задача по очистке водоемов от загрязнителей в виде нефти и других ГСМ является актуальной. Ее решение приобретает особую значимость для нефтегазовой отрасли в связи с ростом числа морских платформ на шельфе арктических и субарктических морей.

ЛИТЕРАТУРА

- Хефлинг Г. *Тревога в 2000 году*. М.: Мысль, 1990.
- Astafiev V.N., Truskov P.A., Polomoshnov A.M. *Sea Ice Investigation on Sakhalin Offshore*. Proc. 5 International Symp. on Okhotsk Sea and Sea Ice. 1999. Mombetsu, Japan.

ЗАДАЧА О РАВНОВЕСИИ ДВУСЛОЙНОЙ КОНСТРУКЦИИ С ДЕФЕКТОМ

И. В. Фанкина

Институт гидродинамики им. М. А. Лаврентьева СО РАН, Новосибирск

Рассматривается краевая задача, описывающая равновесие двуслойной конструкции. Конструкция состоит из двух упругих пластин. Пластины находятся одна над другой и склеены по некоторой линии. При этом в одном из слоев присутствует дефект вдоль линии склейки. На берегах дефекта задаются нелинейные краевые условия, аналогичные условиям в [1], которые содержат параметр повреждаемости. Этот параметр характеризует дефект: чем больше его значение, тем слабее сцепление берегов дефекта, и наоборот. Указанные нелинейные условия обеспечивают непроникание противоположных берегов дефекта друг в друга.

С помощью вариационного подхода установлена разрешимость данной задачи. В задаче осуществлен предельный переход при стремлении параметра повреждаемости к нулю и бесконечности. Получены соответствующие дифференциальные формулировки предельных задач. Кроме того, рассмотрен случай стремления жесткости одного из слоев к бесконечности; проведен анализ полученной предельной задачи.

ЛИТЕРАТУРА

- Khludnev A.M. *On modeling elastic bodies with defects*. Сибирские Электронные Математические Известия. 2018. Т. 15. С. 153–166.

ПРОГНОЗ ИЗМЕНЕНИЯ ПЛОЩАДИ МОРСКИХ ЛЬДОВ В АРКТИКЕ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ИНСОЛЯЦИИ

В. М. Федоров, В. Н. Голубев, Д. М. Фролов, П. Б. Гребенников

Географический факультет Московского Государственного Университета им. М. В. Ломоносова

Изменения в криосфере Земли связаны, прежде всего, с вариациями глобальной температуры, являющейся одним из основных показателей изменяющегося климата. Последствиями увеличения приповерхностной температуры воздуха (ПТВ) и температуры поверхности океана (ТПО) являются современные тенденции криосферных

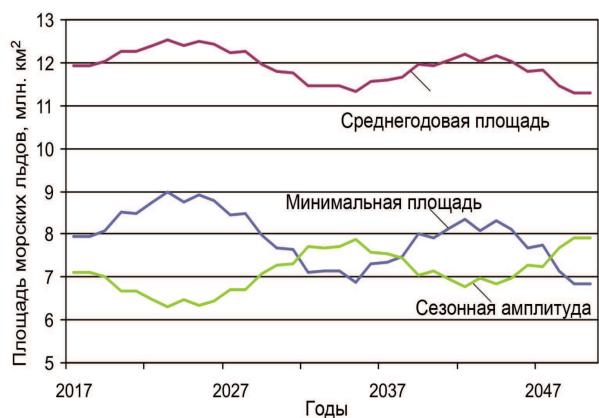
процессов — сокращение площади морских льдов, деградация горного и материко-вого (Антарктида, Гренландия) оледенения и мерзлоты.

Полученные значения приходящей на земной эллипсоид в отсутствии атмосферы солнечной радиации сопоставлялись с данными по динамике площади морских льдов (с 1870 по 2006 гг.) в Северном полушарии Земли [1]–[4].

Анализировались три показателя площади морских льдов северного полушария: среднегодовое значение площади морских льдов, летнее (минимальное) значение площади и сезонная амплитуда (разность между максимальной – в зимнее полугодие и минимальной – в летнее полугодие) площади морских льдов в многолетнем режиме.

Для расчетов изменения площади морского льда использовалась регрессионная модель. Основу регрессионной модели составили тесные корреляционные связи показателей площади морского льда с инсоляционной контрастностью (ИК). ИК – разность между инсоляцией (годовой и летней) области 0–45 и 45–90° северного полушария.

Полученные результаты показывают, что сокращение в 2050 г. по отношению к значениям 2017 г. составит 5,44% и 13,93% для среднегодовых и минимальных значений площади морских льдов соответственно. Сезонная амплитуда увеличится за этот период на 10,24%.



Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 18-05-60193 Арктика).

ЛИТЕРАТУРА

- Walsh J. T., Chapman W. L. *20th century sea-ice variations from observational data*. Ann. Glaciol. 2001. V. 33. pp. 444–448.
- Rayner N. A., Parker D. E., Horton E. B. et al. *Global analyses of surface temperature, sea ice and night marine air temperature since the late nineteenth century*. J. Geophys. Res. 2003. V. 108. No. D14. 4407. doi:10.1029/2002JD002670.
- <http://arctic.atmos.uiuc.edu/SEAICE/timeseries.1870–2008>
- <http://www.metoffice.gov.uk/hadobs>

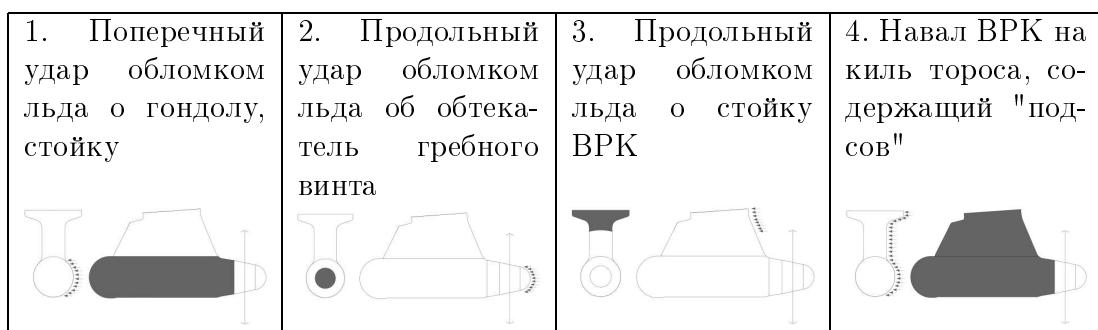
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЛЕДОВЫХ НАГРУЗОК НА КОРПУС ВРК ЛЕДОКОЛЬНЫХ СУДОВ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИХ ПРОЧНОСТИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ И В ЭКСПЛУАТАЦИИ

С. С. Федосеев, А. В. Андрюшин, П. С. Зуев, К. Б. Хлыстова

АО “Центральный научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт морского флота”, Санкт-Петербург

Необходимость повышения технико-эксплуатационных характеристик судов ледового плавания (СЛП) и ледоколов (ЛК) обусловило установку на них винто-рулевых колонок (ВРК). В настоящее время одной из актуальных задач является определение глобальных и локальных ледовых нагрузок на корпус ВРК для обеспечения прочности ее элементов.

В настоящее время АО “ЦНИИМФ” разработал методику определения глобальных и локальных ледовых нагрузок на корпус ВРК. Методика включает процедуры назначения характеристик ледовых образований и операционных режимов, необходимых для назначения ледовых нагрузок. В таблице применительно к “тянущей” ВРК представлены основные расчетные случаи.



Ледовая сила F_{ice} и параметры зоны контакта назначаются из уравнения (1). Ледовые давления p_{ice} в зоне контакта определяются уравнением (2), полученным на основе гидродинамической теории выдавливания ледового порошка [1-3]:

$$\frac{m_{ice}V_{ice}^2}{2} = \int_0^1 F_{ice}dx, \quad (1)$$

$$\bar{p}_{ice} = 0.66854 \cdot e^{(-\bar{\xi}/\alpha)} + 0.33147 \cdot e^{(-\bar{\xi}/\beta)}, \quad (2)$$

где $\bar{p}_{ice} = p_{ice}/(p_{ice})_{max}$ — безразмерное контактное ледовое давление; $(p_{ice})_{max}$ — максимум ледового контактного давления [2,3]; $\bar{\xi} = \xi/\Delta\xi$ — безразмерная координата вдоль кривой ξ ; $\Delta\xi$ — длина зоны контакта по кривой ξ , $\bar{\xi} \in [0, 1]$; 0 — начало зоны контакта; 1 — конец зоны контакта; α, β — параметры [2,3].

Разработанная методика подтверждена результатами модельных и натурных испытаний и применяется для обеспечения прочности современных ВРК.

ЛИТЕРАТУРА

1. Курдюмов В. А., Хейсин Д. Е. *Гидродинамическая модель удара твердого тела о лед*. Прикладная механика. 1976. Т. XII. № 10. С. 103–109.
2. Andryushin A. V., Hanninen S., Heideman T. *Azipod “Azimuth Thruster for large capacity arctic transport ship with high ice category Arc7. Ensuring of operability and operating strength under severe ice conditions”*. Proceedings of the 22nd International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions. 2013.
3. Andryushin A., Zuev P., Kuteinikov M., Grigorjeva O., Bolshev A., Frolov S. *Determination of ice loads acting on bow and stern of the modern ice ships and icebreakers*. ISOPE (International Society of Offshore and Polar Engineers). 2016. V.I. pp. 1298–1306.

РАЗВИТИЕ ИНСТРУМЕНТОВ ГОСУДАРСТВЕННОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ АРКТИЧЕСКИХ РЕСУРСНЫХ РЕГИОНОВ

И. В. Филимонова^{1,3}, А. В. Комарова², Л. В. Эдер^{1,3}, И. В. Проворная¹

¹*Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, Новосибирск*

²*Институт экономики и организации промышленного производства СО РАН, Новосибирск*

³*Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН, Кемерово*

Арктические регионы обладают большим потенциалом с точки зрения освоения природных ресурсов, в первую очередь — нефти и газа. Однако степень разведанности углеводородных ресурсов региона крайне низка, что открывает широкие перспективы для проведения геологоразведочных работ и открытия новых месторождений углеводородов.

В текущих условиях низких цен на нефть и импортных ограничений на использование иностранного оборудования, а также принимая во внимание более сложные геолого-технические и природно-климатические условия проведения изысканий в Арктической зоне, существует необходимость оптимизации структуры издержек для повышения эффективности инвестиционных проектов региона, в первую очередь на ранних этапах реализации, когда осуществляются основные затраты.

Одним из направлений повышения эффективности работы в Арктике являются прямые и косвенные инструменты государственного регулирования, включая фискальное и денежно-кредитное, а также практику ГЧП, создания специализированных инвестиционных территорий с высокой долей инновационной составляющей и т. д.

Целью работы являются оценка влияния различных статей расходов, в том числе ГРР, на эффективность реализации инвестиционных проектов в нефтегазовой отрасли, анализ чувствительности результирующих показателей проекта в зависимости от ключевых факторов, а также рекомендации по оптимизации издержек и

повышению эффективности проектов освоения углеводородных ресурсов Арктики. На основе этого формирования мер государственного регулирования.

В исследовании используются методы геолого-экономической оценки инвестиционных проектов, а также анализ чувствительности и метод Монте-Карло для оценки степени влияния факторов на результирующие показатели.

Проведенный анализ показал, что льготные ставки по специфическим налогам отрасли могут являться эффективным инструментом регулировании и оптимизации результирующих показателей проектов. Налоговые отчисления наравне с ГРР являются одной из самых высоких статей затрат проекта. Так, например, при применении текущей схемы налогообложения по НДПИ и экспортным пошлинам, данные налоговые отчисления могут составлять значительную часть от операционных расходов. В текущих условиях важным направлением является использование практики ГЧП в Арктике.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (код проекта 16-18-10182).

ЛИТЕРАТУРА

1. Filimonova I. V., Eder L. V., Mishenin M. V., Mamakhatov T. M. *Current state and problems of integrated development of mineral resources base in Russia*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2017. 012011.

ЗАДАЧА О КОНТАКТЕ ПЛАСТИНЫ И БАЛКИ ПРИ НАЛИЧИИ СИЛ СЦЕПЛЕНИЯ

A. И. Фурцев

Институт гидродинамики им. М. А. Лаврентьева СО РАН, Новосибирск

В докладе будут представлены результаты, относящиеся к анализу задачи о контакте пластины и балки. Рассматриваемая задача обладает рядом отличительных свойств, среди которых отметим следующие особенности. Во-первых, к числу условий задачи относится условие непроникания контактирующих тел, являющееся ограничением вида неравенства на искомые функции. Во-вторых, контактные условия задаются на множестве, имеющем размерность на единицу меньшую, чем размерность области, в которой ищется решение. Как результат, краевая задача ставится в области с разрезом, на котором задаются нелинейные краевые условия. Наконец, новшеством рассматриваемой задачи, отличающим ее от имеющихся на сегодняшний день работ (см. [1, 2]), является наличие в задаче сил сцепления. Силы сцепления действуют на множестве возможного контакта пластины и балки и характеризуют взаимное притяжение указанных тел.

Проведен анализ различных постановок задачи, в частности, предложена вариационная постановка задачи и для нее доказано существование решения. Затем рассмотрено семейство задач, которые содержат параметр сцепления, отвечающий за вклад работы сил сцепления в общую энергию системы. Исследована зависимость решений задач с параметром: доказана сходимость этих решений при стремлении

параметра к бесконечности, а также проанализирована задача, соответствующая предельному случаю.

ЛИТЕРАТУРА

1. Khludnev A. M., Hoffmann K. H., Botkin N. D. *The variational contact problem for elastic objects of different dimensions*. Siberian Mathematical Journal. 2006. Т. 47. № 3. С. 584–593.
2. Хлуднев А. М. *Задачи теории упругости в негладких областях*. М.: Физматлит, 2010.

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ПРОЕКТИРОВАНИЮ ЛЕДОКОЛЬНЫХ ГРЕБНЫХ ВИНТОВ, НАЗНАЧЕНИЕ ЛЕДОВЫХ НАГРУЗОК И ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОЧНОСТИ ГРЕБНЫХ ВИНТОВ

К. Б. Хлыстова, А. В. Андрюшин, П. С. Зуев, С. С. Федосеев

АО “Центральный научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт морского флота”, Санкт-Петербург

В настоящее время проблема обеспечения прочности гребных винтов (ГВ) судов ледового плавания (СЛП) и ледоколов (ЛК) актуализирована вводом в действие новых высокомощных арктических ЛК, крупнотоннажных ледокольных судов, включая суда двойного действия с винто-рулевыми колонками. Интенсивное использование режимов движения задним ходом в ледовых условиях, рост ледовой ходкости и операционных скоростей приводит к увеличению интенсивности воздействия льда на ГВ, что обуславливает необходимость разработки уточненных методов обеспечения их прочности при проектировании и в эксплуатации.

В настоящее время в АО “ЦНИИМФ” разработана уточненная методика по обеспечению прочности ледокольных ГВ, которая включает определение интегральных и локальных ледовых нагрузок на лопасть ГВ (включая периферийные сечения лопасти), с учетом реальных контактных ледовых давлений, расчет напряженно-деформированного состояния, назначение прочных размеров ГВ из условия обеспечения усталостной и статической прочности. Методика позволяет регламентировать безопасные режимы эксплуатации из условия обеспечения прочности ГВ. Разработан уточненный метод назначения силы поломки лопасти (СПЛ) из условия обеспечения пирамидальной прочности пропульсивного комплекса. Разработаны рекомендации по снижению СПЛ и назначению толщин галтельного перехода в месте соединения лопасти со ступицей.

Интегральные ледовые силы (аксиальная отрицательная ледовая сила на лопасти ГВ, ледовый момент) определяются в зависимости от основных параметров ГВ, скорости движения судна, скорости вращения ГВ и характеристик ледовых условий (толщина, прочность ледового покрова).

Уменьшение скорости вращения ГВ в процессе взаимодействия приводит к уменьшению угла атаки лопасти и росту ледовой нагрузки. Для значительного снижения ледовой нагрузки применен специализированный тонкий профиль с заостренными кромками, что позволяет также снизить крутящий момент главного электродвигателя и повысить его работоспособность.

ЛИТЕРАТУРА

1. Курдюмов В. А., Хейсин Д. Е. *Гидродинамическая модель удара твердого тела о лед*. Прикладная механика. 1976. Т. XII. № 10. С. 103–109.
2. Soininen H. *A propeller-ice contact model*. Dissertation for the degree of Doctor of Technology. VTT technical research centre of Finland. Espoo. 1988. 116 p.
3. Андрюшин А. В. *Теория взаимодействия гребного винта со льдом. Обеспечение эксплуатационной прочности элементов пропульсивного комплекса судов ледового плавания и ледоколов*. Дис. на соискание д.т.н.: 05.08.01. С.-Петербург. Гос. Мор. Техн. Ун-т. Санкт-Петербург. 2007. 255 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ХРУПКОГО РАЗРУШЕНИЯ ЛЬДА С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КРИТЕРИЯ

В. Г. Цуприк, В. Г. Занегин, Л. В. Ким

Дальневосточный федеральный университет, Владивосток

Задача получения достоверных значений нагрузок от дрейфующих ледяных образований на платформы вследствие большого числа неопределенных факторов остается актуальной до сих пор. Расчетная формула ледовой нагрузки описывает модель разрушения в зависимости от скорости дрейфа, толщины и температуры льда, солености. Поле по контакту может разрушаться по хрупкой или вязкой схеме.

Предложена двухпараметрическая модель хрупкого разрушения льда. Модель основана на результатах анализа механизмов разрушения льда для случая, когда при сжатии кромки поля в зоне контакта с сооружением образуются радиальные трещины, делающие поля на клиновидные фрагменты. На втором этапе циклического процесса разрушения кромки поля происходит сдвиг поверхности верхнего и нижнего краев поля (справедлив критерий Кулона—Мора).

На третьем этапе процесса внедрения опоры в поле разрушается торцевая грань ее центральной части, и она приобретает форму усеченной пирамиды. Для второго этапа предложено использовать энергетический критерий прочности ограниченного объема льда. Это альтернативный критерий прочности в отличие от традиционного метода расчета ледовой нагрузки с использованием предела прочности льда при одноосном сжатии.

В расчете предложено использовать следующие прочностные характеристики льда: удельную энергию разрушения, угол внутреннего трения и сцепление, полученные при полевых испытаниях. Представлены результаты расчета частоты повторения циклов разрушения морского льда на основе предлагаемой модели хрупкого

разрушения и экспериментальные данные, полученные при испытании образцов морского льда на сдвиг. Также даны результаты испытаний образцов льда (Амурский залив) динамическим приложением сжимающей нагрузки и обсуждение результатов.

ВЛИЯНИЕ КАПИЛЛЯРНЫХ СИЛ НА ФАЗОВЫЕ ПЕРЕХОДЫ В МЕРЗЛЫХ ГРУНТАХ

Г. Г. Цыпкин

Институт проблем механики им. А. Ю. Ишлинского РАН, Москва

В геокриологии традиционным является подход, основанный на эффективных уравнениях. В основе теории лежит представление о грунте (почве) как сложной термодинамической системе, для которой справедлива гипотеза Онзагера, связывающая обобщенные потоки и обобщенные силы посредством линейных соотношений. Задача описания процессов тепломассопереноса сводится к экспериментальному определению матрицы коэффициентов, стоящих перед градиентами объемного содержания воды, температуры и других параметров, определяющих состояние физической системы [1]. Основные трудности этого подхода связаны не только с трудностями экспериментального определения коэффициентов диффузии влаги, температуры и т. д., но также и с выводом граничных условий на поверхностях фазовых переходов, поскольку для определения вида граничных условий для уравнения диффузии влаги требуется дополнительная гипотеза, связывающая влажность или ее градиент (или то и другое) со скоростью границы. В работе [2] дан обзор такого рода гипотез и соответствующих им граничных условий, выдвигаемых различными авторами.

В настоящей работе используется другой подход, основанный на механике многофазных сред. Сформулирована математическая модель промерзания грунта, насыщенного гетерогенной смесью воды и воздуха, при наличии капиллярного давления. Предложен вывод диффузионного уравнения, аналогичного уравнению диффузии влаги, следующий из законов сохранения масс и закона Дарси, позволяющий выразить коэффициент диффузии через параметры среды. Выведены балансовые уравнения и предложено замыкающее соотношение на фронте кристаллизации воды. В линейном приближении получено автомодельное решение задачи. Показано, что рост капиллярных сил уменьшает количество образующегося льда, а более интенсивный режим замораживания приводит к росту льдонасыщенности.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 16-01-00363).

ЛИТЕРАТУРА

1. Цытович Н. А. *Механика мерзлых грунтов*. М.: Высшая школа, 1973.
2. Жесткова Т. Н. *Формирование криогенного строения грунтов*. М.: Наука, 1982.

К ТЕОРИИ СИНТЕЗА ГАЗОГИДРАТА В СНЕЖНОМ МАССИВЕ, НАСЫЩЕННОМ ГАЗОМ, ПРИ НАГНЕТАНИИ ЭТОГО ЖЕ ГАЗА

A. С. Чиглинцева^{1,2}

¹*Институт механики УФИЦ РАН, Уфа*

²*ИММ — обособленное структурное подразделение ФИЦ КазНЦ РАН, Казань*

На сегодняшний день решением проблем утилизации парниковых газов, а также сокращения объемов хранения газа и беструбной транспортировки углеводородных соединений являются газогидратные технологии [1]. Поскольку, например, в 1 м³ газогидрата метана содержится 170 м³ газа [1, 2]. Для хранения таких объемов в резервуарах необходимо поднять давление до 15 МПа, а в газогидратном состоянии достаточно давления 2.5 МПа. Так, в 2003 году в Японии компания Mitsui Engineering and Shipbuilding впервые в мире разработала проект по транспортировке и хранению природного газа в форме гидратных гранул и в 2009 году представила первую в мире технологическую установку для производства гидрата природного газа мощностью до 5 тонн в сутки [3].

В работе построена математическая модель процесса образования газогидрата в снежном массиве, в исходном состоянии насыщенном газом, при нагнетании этого же газа. Для осесимметричной задачи с протяженной областью образования газогидрата построены автомодельные решения, описывающие поля температур и давлений, а также насыщенности снега, гидрата и газа в массиве. Показано, что в зависимости от термобарического состояния нагнетаемого газа и исходных параметров снежного массива, гидратообразование может происходить в режимах, отличающихся возникновением в области фильтрации различных зон [4, 5]. На основе полученных аналитических и численных решений проанализировано влияние величин параметров, определяющих исходное состояние массива, массового расхода нагнетаемого газа на структуру и протяженность рассматриваемых зон.

Автор выражает благодарность академику АН РБ, д.ф.-м.н., профессору Владиславу Шайхулагзамовичу Шагапову за полезные замечания, советы и внимание к исследовательской работе автора.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №15-11-20022).

ЛИТЕРАТУРА

1. Макогон Ю. Ф. *Гидраты природных газов*. М.: Недра, 1974.
2. Шагапов В. Ш., Мусакаев Н. Г. *Динамика образования и разложение гидратов в системах добычи, транспортировки и хранения газа*. М.: Наука, 2016.
3. Nakai S. *Development of Natural Gas Hydrate (NGH) Supply Chain*. Proceedings, 25th World Gas Conference, Kuala Lumpur, Malaysia, 4-8 June, 2012. pp. 3040–3050.
4. Шагапов В. Ш., Чиглинцева А. С. *О нагнетании гидратообразующего газа в снежный массив, насыщенный тем же газом, при переходе через точку плавления льда*. ТиА. 2018. Т. 25. № 1. С. 89–104.
5. Чиглинцева А. С. *Автомодельное решение задачи образования гидрата в снежном массиве*. ВМСС. 2017. Т. 10. № 2. С. 212–224.

ЭКСПЕРИМЕНТЫ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ЛЕДОВЫХ НАГРУЗОК НА БЕРЕГОУКРЕПИТЕЛЬНЫЕ СООРУЖЕНИЯ В ЛЕДОВОМ БАССЕЙНЕ

A. A. Чижевский, Н. А. Есенина, А. А. Зайцев, Ю. С. Карасёв, И. В. Ситников

“23 ГМПИ - филиал АО “31 ГПИСС”, Санкт-Петербург

В статье приводятся постановка и результаты экспериментов по определению ледовых нагрузок на берегоукрепительные сооружения из гексабитов. Опыты проведены в ледовом бассейне, в котором построена модель берегоукрепительного сооружения. Наклонная поверхность модели откоса (размеры в плане 4.0×1.0 м) заполняется модельными гексабитами, каждый размером 326×326 мм и весом 38.5 кг (моделирование Гб-1, линейный масштаб 1 : 3, масштаб по массе 1 : 27). Ледовая нагрузка создается при надвигании на модель льда, который образуется в бассейне при замерзании пресной воды в естественных погодных условиях [1]. Прочностные характеристики льда определяются по методике ААНИИ при нагружении на прессе образцов, выбираемых из образовавшихся ледовых полей. В испытаниях моделей берегоукрепления при действии льда измерялись параметры движения (скорость и перемещения), усилия, действующие на основание откоса, усилия, действующие на лед со стороны нагрузочных устройств, и усилия, возникающие на конструкции, имитирующей береговую линию. Испытания проведены для трех вариантов укладки гексабитов (однослочная регулярная, двухслойная регулярная, двухслойная смешанная). Приводятся результаты опытов и рекомендации по выбору способов укладки гексабитов, обеспечивающих устойчивость берегоукрепления при действии льда.

ЛИТЕРАТУРА

1. СП 38.13330.2012 *Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов)*. Москва, 2012.

НЕЛИНЕЙНЫЕ ДИФФУЗИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ В НЕОДНОРОДНОЙ СРЕДЕ С НЕСТАЦИОНАРНЫМ ПОГЛОЩЕНИЕМ ИЛИ ИСТОЧНИКОМ

Ю. А. Чиркунов

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет
(Сибстрин)

Методами группового анализа исследована модель, описывающая нелинейную диффузию (или распределение тепла) в неоднородной среде с нестационарным поглощением или источником. С помощью алгоритма, предложенного в работе [1], выполнена групповая классификация нелинейного дифференциального уравнения этой модели. Найдены все инвариантные подмодели. Инвариантные решения, описывающие эти подмодели, найдены либо явно, либо их поиск сводится к решению нелинейных интегральных уравнений [2]. В частности, получено инвариантное решение,

описывающее нелинейную диффузию (или распределение тепла) с двумя фиксированными “черными дырами”, в которых концентрация (или температура) неограниченно растет, и инвариантное решение, описывающее нелинейную диффузию (или распределение тепла) с фиксированной “черной дырой” и движущейся “черной дырой”. Решения с “черными дырами” могут быть использованы для описания процесса разрушения ледниковых под воздействием внешнего источника тепла, например солнечной энергии. С помощью другого инвариантного решения исследован процесс, для которого в начальный момент времени в фиксированной точке заданы концентрация (или температура) и ее градиент. Решение краевой задачи, описывающей этот процесс, сводится к решению нелинейных интегральных уравнений. Установлены существование и единственность решения этой краевой задачи при некоторых условиях. Механическая значимость полученных решений заключается в следующем: 1) они описывают конкретные нелинейные диффузионные процессы (или процессы распределения тепла), 2) их можно использовать в качестве тестов в численных расчетах при исследованиях нелинейной диффузии (или распределения тепла) в неоднородной среде с нестационарным поглощением или источником, 3) они позволяют оценить степень адекватности данной математической модели реальным физическим процессам после проведения экспериментов, соответствующих этим решениям, и оценки возникающих отклонений.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 16-01-00446 а).

ЛИТЕРАТУРА

- Chirkunov Yu. A. *Generalized Equivalence Transformations and Group Classification of Systems of Differential Equations*. Journal of Applied Mechanics and Technical Physics. 2012. V. 53. No. 2. P. 147–155. DOI:10.1134/S0021894412020010.
- Chirkunov Yu. A. *Submodels of model of nonlinear diffusion with non-stationary absorption*. International Journal of Non-Linear Mechanics. 2017. V. 91. P. 86–94. DOI: 10.1016/j.ijnonlinmec.2017.02.011

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ И СТАТИЧЕСКОЙ ТРЕХМЕРНОЙ МОДЕЛИ ТРАНСВЕРСАЛЬНО-ИЗОТРОПНОЙ УПРУГОЙ СРЕДЫ

Ю. А. Чиркунов¹, Н. Ф. Бельмечев²

¹Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

²Тюменский государственный университет

Найдены условия, при которых системы уравнений динамической и статической трехмерной модели трансверсально-изотропной упругой среды имеют градиент гармонической функции в качестве частного решения. В этом случае параметры тензора модуля упругости удовлетворяют условиям Гассмана. Условия Гассмана широко используются в геофизике при исследовании трансверсально-изотропных упру-

тих сред. Выполнено групповое расслоение систем уравнений динамической и статической трехмерной модели трансверсально–изотропной упругой среды с условиями Гассмана относительно бесконечной подгруппы, порожденной градиентом гармонической функции и содержащейся в нормальном делителе основной группы этой системы. Для динамической модели получена система дифференциальных уравнений первого порядка, равносильная уравнениям данной модели, которая с точностью до преобразований эквивалентности содержит наименьшее число дополнительных функций и включает в себя две классические системы математической физики: систему уравнений безвихревой акустики и систему уравнений Максвелла в анизотропной среде специального вида. Найдена основная группа Ли преобразований этой системы. Получены все инвариантные и частично инвариантные подмодели динамической модели трансверсально–изотропной упругой среды. Найдены некоторые точные решения, указан их физический смысл. Для статической модели получено общее решение автоморфной системы. Это решение представляет собой трехмерный аналог формулы Колосова–Мусхелишивили для данной модели. Найдена основная группа Ли преобразований разрешающей системы этого группового расслоения. С помощью этого группового расслоения получены невырожденные точные решения уравнений трехмерной модели статической трансверсально–изотропной упругой среды с условиями Гассмана. Для найденных точных решений приведены соответствующие деформации, возникающие в упругом теле при определенных значениях модулей упругости.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 16-01-00446 а).

ЛИТЕРАТУРА

1. Annin B. D., Belmetsev N. F., Chirkunov Yu. A. *Group analysis of equations dinamic transversely isotropic elastic model*. Journal of Applied Mathematics and Mechanics. V. 78. No. 5. Pp. 529–537. DOI:10.1016/j.jappmathmech.2015.03.013.
2. Chirkunov Yu. A., Belmetsev N. F. *Exact solutions of three-dimensional equations of static transversely isotropic elastic model*. Acta Mechanica. 2017. V. 228. Issue 1. Pp. 333–349. DOI:10.1007/s00707-016-1712-4.

АНАЛИЗ ДЕГРАДАЦИИ БЕТОНА МОРСКИХ СООРУЖЕНИЙ

Е. Е. Шалый, Л. В. Ким

Дальневосточный федеральный университет

Более половины портовых сооружений Дальнего Востока и Арктики находятся в неудовлетворительном состоянии и требуют реконструкции. Оптимальная стратегия восстановления железобетонных причальных сооружений в холодном регионе требует применения современных технологий на основе знания деградационных механизмов бетона как материала. Действие попеременного увлажнения–высушивания, низкой температуры, карбонизации, хлоридная агрессия и пр. влияющие факторы имеют высокую степень неопределенности, что требует применения вероятностных методов оценки технического состояния сооружений.

Рассмотрены результаты анализа процессов коррозионного разрушения бетона конструкций, сформулировано предельное состояние для хлоридной коррозии защитного слоя бетона. Предложена модель деградации защитного слоя бетона от совместного действия карбонизации и хлоридной агрессии и вероятностная методика определения срока службы конструкции.

Проведена верификация модели с использованием результатов полевых обследований бетонных конструкций портов Холмск и Корсаков. Например, на глубине 5 см в зоне брызг концентрация хлоридов по измерениям 0,4% веса цемента при возрасте конструкции порядка 30 лет. Обследование причальных сооружений подтвердило, что локально, в определенных случаях, в защитном слое бетона возникают области, где наблюдается одновременное действие карбонизации и хлоридной агрессии. В этих локальных областях достигается максимальная концентрация хлоридов и возникает коррозия арматуры.

Моделирование изменения концентрации ионов хлора в бетоне защитного слоя в соответствии с принятыми моделями в зависимости от срока службы, климатических условий и глубины армирования, позволило сравнить содержание хлорида по глубине с учетом и без учета совместного воздействия карбонизации и хлоридной агрессии. Результаты моделирования хорошо соотносятся с натурными исследованиями, что позволило предложить эффективные способы повышения долговечности и ремонтопригодности бетонных конструкций, эксплуатируемых в морской среде.

КОНТРОЛИРУЕМЫЕ СТРУКТУРЫ ТЕПЛОВОЙ ВИБРАЦИОННОЙ КОНВЕКЦИИ ТАЛОЙ ВОДЫ В ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ПОЛОСТИ

В. А. Шарифулин¹, Т. П. Любимова², А. Н. Шарифулин¹

¹Пермский национальный исследовательский политехнический университет

²Институт механики сплошных сред УрО РАН, Пермь

Настоящее исследование мотивировано тем, что в технических устройствах систем жизнеобеспечения полярных станций наиболее распространенной жидкостью является вода, которая в области 4°C претерпевает в отличие от большинства других жидкостей температурную инверсию плотности. Тепломассоперенос воды в этих устройствах, как правило, вследствие работы насосов, вентиляторов и т.п. происходит при наличии вибраций. В неравномерно нагретой жидкости с линейной зависимостью плотности от температуры, в зависимости от интенсивности вибраций и взаимной ориентации градиента температуры, направления силы тяжести и вибраций, последние могут приводить как к стабилизации, так и дестабилизации механического равновесия в жидкости [1]. Для случая полости, имеющей форму бесконечного горизонтального цилиндра и подогреваемого с заданным градиентом температуры сбоку, выбирая направление и интенсивность вибраций, можно стабилизировать состояние механического равновесия [2].

С целью исследования влияния вибраций на возникновение тепловой конвекции жидкости с тепловой инверсией плотности в настоящей работе получены уравнения

тепловой вибрационной конвекции неравномерно нагретой жидкости с тепловой инверсией плотности. С их помощью аналитически и численно исследована задача о тепловой вибрационной конвекции в замкнутой полости, имеющей форму бесконечного горизонтального цилиндра, заполненного жидкостью с квадратичной тепловой инверсией плотности, для произвольных взаимных ориентаций векторов, задающих направления подогрева, силы тяжести и вибраций. Нагрев осуществляется таким образом, что точка тепловой инверсии плотности находится в центре. Проведенный анализ показал, что в отличие от упомянутого выше случая жидкости без тепловой инверсии плотности, ее наличие приводит в отсутствие вибраций к двухвихревому течению. Проведенный в работе анализ показал, что меняя направление вибраций и их интенсивность, можно управлять структурой осредненного движения. Выбирая направление и интенсивность вибраций, можно последовательно изменять количество вихрей в полости от двух до четырех.

Работа была выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (проект №3.6990.2017/8.9).

ЛИТЕРАТУРА

1. Gershuni G. Z. and Lyubimov D. V. *Thermal Vibrational Convection*. John Wiley and Sons, 1998.
2. Шарифулин А. Н. *Контролируемое равновесие неравномерно нагретой жидкости в вибрационном поле*. ЖЭТФ. 2010. Т. 137. № 1. С. 177–182.

СТРУКТУРА НАДКРИТИЧЕСКОЙ ТЕПЛОВОЙ КОНВЕКЦИИ В ГОРИЗОНТАЛЬНОМ СЛОЕ ТАЛОЙ ВОДЫ ПРИ ЗАДАННОМ ТЕПЛОВОМ ПОТОКЕ

В. А. Шарифулин¹, Т. П. Любимова², А. Н. Шарифулин¹

¹Пермский национальный исследовательский политехнический университет

²Институт механики сплошных сред УрО РАН, г. Пермь

Настоящее исследование мотивировано тем, что в полярных условиях свободная тепловая конвекция в горизонтальном слое воды может происходить при температурах, близких к 4°C , когда вода претерпевает в отличие от большинства других жидкостей температурную инверсию плотности. В [1] показано, что в условиях, когда на границах слоя задан постоянный восходящий тепловой поток, структура критических возмущений зависит от положения точки инверсии z_i , определенной так, что при $z_i = 0$ точка инверсии находится на твердой нижней границе слоя, а при $z_i = 1$ – на свободной верхней. Методами линейной теории устойчивости было показано, что при $z_i < 0.61$ конвекция в слое возникает в результате потери устойчивости относительно ячеистых возмущений, а когда $z_i > 0.61$ наиболее опасны длинноволновые возмущения.

С целью исследования влияния возникающих надкритических режимов на теплоперенос через слой в настоящей работе надкритическая тепловая конвекция исследуется конечно-разностным методом. Показано, что надкритическая тепловая конвекция в области, где наиболее опасны ячеистые возмущения, приводит к нарушению вертикальности границ между ячейками. Это приводит к формированию в слое жидкости многослойной системы вихрей, расположенных в шахматном порядке. Для значений параметров, при которых наиболее опасны длинноволновые возмущения, т.е. при $z_i > 0.61$, расчеты проводились для вытянутых областей с отношением сторон один к пяти и один к семи. При умеренных надкритичностях течение в слое имеет вид вытянутого одиночного вихря. Увеличение надкритичности приводит к разбиению одиночного вихря и формированию трехячеистого режима конвекции.

Исследованы также колебательные режимы надкритической конвекции, возникающие при более чем десятикратной надкритичности.

Работа была выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (проект №3.6990.2017/8.9).

ЛИТЕРАТУРА

- Любимов Д. В., Любимова Т. П., Шарифуллин В. А. *Возникновение конвекции в горизонтальном слое жидкости с инверсией плотности в условиях заданного теплового потока на границах*. Известия РАН. МЖГ. 2012. № 4, С. 23–29.

ДВИЖЕНИЕ ОСЦИЛЛИРУЮЩЕЙ ВНЕШНЕЙ НАГРУЗКИ ПО ЛЕДОВОМУ ПОКРОВУ КАНАЛА

К. А. Шишмарев¹, Т. И. Хабахпашева^{2,3}, А. А. Коробкин³

¹ Алтайский государственный университет, Барнаул

² Институт гидродинамики им. М. А. Лаврентьева СО РАН, Новосибирск

³ Университет Восточной Англии, Норидж, Великобритания

Рассматривается нестационарная задача о движении внешней осциллирующей нагрузки вдоль замороженного прямоугольного канала. Жидкость в канале является идеальной и покрыта ледовым покровом. Лед моделируется тонкой упругой пластиной. Течение, вызванное прогибом ледового покрова, является потенциальным. Задача формулируется в рамках линейной теории гидроупругости. Внешняя нагрузка моделируется гладким локализованным давлением $P_0(t) P(x - Ut, y)$. Здесь x — координата вдоль канала, U — скорость нагрузки, t — время, $P_0(t)$ — переменная амплитуда, $P_0(t) = P_0(0) + P_0(0) \sin(\omega t)/2$. Связанная система уравнений динамики ледовой пластины и жидкости замыкается начально-краевыми условиями: ледовая пластина приморожена к стенкам канала, потенциал скорости течения жидкости удовлетворяет условиям непротекания на твердых границах канала и линеаризованным кинематическому и динамическому условиям на границе лед-жидкость; в начальный момент времени, $t = 0$, внешняя нагрузка неподвижна, течение в канале отсутствует и стационарный прогиб определяется из уравнения пластины для $P_0(0)$. Определен прогиб ледового покрова $w(x, y, t)$ при больших временах.

Задача решается методом преобразования Фурье вдоль канала. Профиль прогиба льда поперек канала определяется с помощью собственных мод колебаний ледового покрова в канале [1]. Задача с постоянной амплитудой в системе, движущейся вместе с нагрузкой, решена в [2]. Решение задачи для прогиба получено в квадратурах и состоит из трех частей: (1) симметричный относительно нагрузки прогиб, соответствующий покоящейся нагрузке; (2) прогиб, соответствующий установившимся волнам, распространяющимся со скоростью нагрузки [2]; (3) прогиб, соответствующий волнам, распространяющимся от нагрузки и вызванным осцилляциями нагрузки. Количество последних волн, в зависимости от параметров задачи, может достигать четырех для каждой моды. В докладе приводятся результаты численного и аналитического решения рассмотренной задачи.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта Российского фонда фундаментальных исследований 16-08-00291 А “Гидроупругие и термодинамические эффекты при взаимодействии пороупругого снежно-ледового покрова с конструкциями”.

ЛИТЕРАТУРА

1. Korobkin A., Khabakhpasheva T. and Papin A. *Waves propagating along a channel with ice cover*. European Journal of Mechanics - B/Fluids. 2014. V. 47. Pp. 166–175.
2. Shishmarev K., Khabakhpasheva T. and Korobkin A. *The response of ice cover to a load moving along a frozen channel*. Applied Ocean Research. 2016. V. 59. Pp. 313–326.

РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОЕКТОВ РАЗВЕДКИ И ДОБЫЧИ УГЛЕВОДОРОДНОГО СЫРЬЯ КАК ФАКТОР СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ РЕСУРСНЫХ РЕГИОНОВ АРКТИКИ

Л.В. Эдер^{1,3}, А.В. Комарова², И.В. Филимонова^{1,3}, И.В. Проворная¹

¹Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН,
Новосибирск

²Институт экономики и организации промышленного производства СО РАН,
Новосибирск

³Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН, Кемерово

В последние годы все большую важность для развития нефтегазовой промышленности приобретают Арктические регионы. Наблюдается рост инвестиций на всех стадиях реализации проектов освоения углеводородных ресурсов данной территории. В первую очередь были резко активизированы геологоразведочные работы как на региональном, так и поисковом, и разведочном этапах. Однако Арктика характеризуется крайне сложными природно-климатическими, технологическими, инфраструктурными, а также социально-экономическими условиями как для выполнения ГРР, так и для реализации крупномасштабных проектов в целом. В конечном итоге реализация сырьевых проектов должна служить катализатором социальнно-экономического развития регионов Арктики.

Целью исследования является исследование влияния реализации проектов разведки и добычи углеводородного сырья Арктики на социально-экономическое развитие ресурсных регионов данной области.

Используются методы кластерного анализа для идентификации и типизации ресурсных регионов Арктической зоны. Также используется эконометрический анализ панельных данных для проверки гипотез о существовании и направлении зависимости между высокими показателями ресурсности и социально-экономическим развитием рассматриваемых территорий, т.е. проверка существования “ресурсного проклятья” на региональном уровне.

Результаты кластерного анализа показали, что все регионы, причисляемые к Арктической зоне, можно назвать ресурсными, опираясь на такие факторы как уровень и структура добычи полезных ископаемых, доля НДПИ в налоговых отчислениях и занятость на добывающих производствах. При этом анализ панельных данных по вопросу влияния наличия энергетических ресурсов в Арктических регионах показали прямую связь с уровнем социально экономического развития. Это в целом соглашается с понятиями о ресурсном проклятии на страновом и макро-уровне. Однако важно учитывать, что данным регионам свойственен моноотраслевой тип экономики, который не дает возможности комплексного инновационного развития различных секторов региона. Существует обратная связь между степенью ресурсности и инновационным развитием, что несет в себе существенные вызовы и угрозы.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (код проекта 17-78-20218).

ЛИТЕРАТУРА

1. Eder L. V., Filimonova I. V., Provornaya I. V., Nemov V. U., Nikitenko S. M. *Regional smart specialisations in fostering innovation development of resource regions of Russia*. International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM. 2017. V. 17(53). pp. 727–734.

ИСТОРИЯ ГЕНЕРАЦИИ УГЛЕВОДОРОДОВ В КУОНАМСКОМ КОМПЛЕКСЕ СЕВЕРО-ТУНГУССКОЙ НГО

E. С. Ярославцева, Л. М. Бурштейн

*Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН,
Новосибирск*

Исследуемая территория расположена на северо-западе Сибирской платформы. Осадочный чехол территории представлен отложениями позднего протерозоя, палеозоя, триаса и четвертичной системы [1]. Основной нефтегазовый комплекс кембрия этой территории включает куонамскую нефтегазопроизводящую толщу нижнего среднего кембрия и клиноформные образования майского века, по строению сходные с баженовской свитой и клиноформами неокома Западной Сибири. Принципиальным событием в истории развития осадочного чехла Сибирской платформы стало явление траппового магматизма в конце перми - начале триаса. Внедрение траппов

способно как разрушить уже сформированные залежи, так и ускорить вхождение толщ в главные зоны нефте- и газообразования [3]. Очевидно, что влияние интрузий не может оцениваться однозначно, в связи с чем восстановление динамики нефтегенеза целесообразно проводить в два этапа: 1) восстановление динамики генерации углеводородов на момент до начала траппового магматизма, 2) оценка влияния траппов [2]. В настоящей работе представлены результаты выполнения первой группы задач.

Авторами проведено компьютерное моделирование эволюции куонамской толщи Северо-Тунгусской НГО в катагенезе на момент до начала траппового магматизма. За основу взяты результаты структурных, литологических, палеогеографических и других построений, выполненных в ИНГГ СО РАН, а также обширный материал по geoхимии куонамской толщи. По результатам моделирования выявлены очаги генерации углеводородов и определена динамика их развития. Проведена косвенная оценка величины ресурсов углеводородов, сгенерированных куонамской толщей на момент начала траппового магматизма.

ЛИТЕРАТУРА

1. Геология нефти и газа Сибирской платформы. под ред. А.Э. Конторовича, В.С. Суркова, А.А. Трофимука. М.: Недра, 1981.
2. Конторович А.Э. Влияние интрузивных траппов на нефтегазоносность палеозойских отложений Сибирской платформы. А.Э. Конторович, Н.В. Мельников, В.С. Старосельцев, А.В. Хоменко. Геология и геофизика. 1987.
3. Хоменко А.В. Интрузии траппов как один из факторов, определяющих размещение месторождений углеводородов (на примере Южно-Тунгусской НГО). Прогноз зон нефтегазонакопления и локальных объектов на Сибирской платформе. Л.: Изд. ВНИГРИ, 1988. С. 96–103.

Авторский указатель

А

Абзаев Ю. А., 13–15, 48
Абрамов Т. В., 81
Азовцев А. И., 35
Алексанин А. И., 92
Алексанина М. Г., 92
Алексеев А. А., 16
Алексеев Г. В., 18
Алексютина Д. М., 19
Алтунина Л. К., 130
Альхименко А. И., 102
Андреева А. В., 120
Андрюшин А. В., 20, 146, 149
Арбузов В. А., 21
Аргунова К. К., 34

Б

Бабенков М. Б., 22
Байкин А. Н., 23, 94, 112, 131
Бардачевский В. Н., 25
Баурин Н. О., 65
Баутин С. П., 26
Белова С. В., 27
Белолипецкий В. М., 28
Бельмечев Н. Ф., 154
Бельских Д. С., 36
Бердников В. С., 21, 29, 30
Бодякин Е. В., 115
Бокатова Е. А., 31
Болдырева О. Ю., 56
Большаков А. М., 16, 32
Большев А. С., 33, 63
Бондарев Э. А., 34
Бондаренко Ю. В., 35
Бородин С. Л., 36, 101
Бородкин В. А., 75
Боронин С. А., 112
Бочкарева С. А., 37
Бугаев В. Г., 35
Буденный С. А., 38
Бузник В. М., 40, 108
Буренина О. Н., 120
Бурнаев Е. В., 73
Бурштейн Л. М., 57, 127, 160

Буслаева И. И., 41, 42

В

Ваганова Н. А., 43
Вайнштейн А. Л., 73
Варыгина М. П., 44
Васильев А. С., 66
Васильев Н. К., 102
Васильев С. В., 87
Вергун А. П., 19
Винокуров В. А., 136
Воеводин А. Ф., 45

Г

Галкин А. Ф., 46
Гарагаш И. А., 112
Гарибин П. А., 47
Гаусс К. С., 13–15, 48
Генова С. Н., 28
Глазовский А. Ф., 132
Глязнецова Ю. С., 48
Гныря А. И., 13–15, 48, 50
Голдобин Д. С., 98
Головин С. В., 23, 131, 133
Голубев В. Н., 51, 144
Голушкино С. К., 40
Голых Р. Н., 53
Гончарова Г. Ю., 108
Горшков А. В., 54
Гребенников П. Б., 144
Грибанов И. И., 55
Гришаева Н. Ю., 37
Гришков В. А., 21, 29, 30
Губайдуллин А. А., 56
Губин И. А., 78
Гуляев В. П., 116
Гусева С. М., 71, 79, 139
Гусельникова О. О., 30

Д

Даваасенгэ С. С., 120
Дербышев Д. Ю., 112
Деревягина Л. С., 114
Детков В. А., 124
Дешин А. А., 57, 127

Добродеев А. А., 31, 58
 Долженко К. В., 58
 Донцов Е. В., 112, 131
 Драчук А. О., 100, 119
 Дрожжин А. П., 142
 Дубнищев Ю. Н., 21
 Дугаров Г. А., 60
 Дударева О. В., 27
 Дудко Д. Н., 56
 Дульцев Ф. Ф., 105–107
 Дучков А. А., 60
 Дьяконов А. А., 61

Е

Егоров А. В., 62
 Егорушкин В. Е., 114
 Елистратов В. В., 63
 Епифанов В. П., 63, 123
 Ерофеев А. А., 38, 112
 Ершов С. В., 25
 Есенина Н. А., 64, 153

З

Зайцев А. А., 153
 Занегин В. Г., 150
 Земляк В. Л., 65, 66
 Зуев Д. Б., 74
 Зуев П. С., 20, 146, 149
 Зуева И. Н., 48

И

Иванов А. М., 93
 Иванов А. Р., 32
 Иванова И. К., 67, 85, 128
 Иванова К. А., 95
 Ильичев А. Т., 68
 Ипатов К. И., 66

К

Кавунникова Е. В., 133
 Калачева Л. П., 70
 Калинин А. Ю., 78, 79, 82
 Калинина Л. М., 78, 79, 82
 Канакова К. И., 71
 Каневский Г. И., 72
 Канин Е. А., 73
 Карасёв Ю. С., 64, 153
 Кашкин В. Б., 74

Ким Л. В., 150, 155
 Кислицын С. А., 29
 Клементьева Н. Ю., 58
 Клубничкин А. М., 72
 Ковалев С. М., 75
 Коваленко А. И., 26
 Ковтуненко П. В., 131
 Козин В. М., 65, 66, 122
 Козлов Д. В., 76
 Кокин О. В., 19
 Колабутин Н. В., 75
 Колпаков В. И., 77
 Комарова А. В., 147, 159
 Кондрашов Ю. Г., 102
 Конторович В. А., 78, 79, 81, 82
 Корнев В. М., 84
 Коробкин А. А., 86, 158
 Коробков С. В., 13–15, 48, 50
 Корякина В. В., 67, 85, 128
 Костиков В. К., 86
 Кошин А. А., 50
 Ксенофонтов П. В., 87
 Кубышкин Н. В., 31
 Кудюков Н. А., 77
 Кузнецов И. В., 88
 Кулаков И. Ю., 99
 Кулешов С. Л., 76
 Курако М. А., 74, 115
 Кургузов В. Д., 89

Л

Ладов С. В., 77
 Лазарева Г. Г., 96
 Лапковский В. В., 81
 Лаптева Н. А., 45
 Левин А. И., 42
 Левин Б. В., 90
 Левин В. А., 92
 Лифшиц С. Х., 48
 Лопашев К. А., 31
 Лукин Е. С., 93
 Лунев Б. В., 81
 Льготина Е. В., 94
 Любимова Н. Ю., 109
 Любимова Т. П., 156, 157
 Люкшин Б. А., 37
 Люкшин П. А., 37

М

Макаренко Н. И., 86, 95
Максимова А. Г., 96
Мальцева Ж. Л., 95
Мамаева Н. Л., 117
Манаков А. Ю., 130, 135, 136
Марков В. А., 21
Марков С. И., 97
Марченко А. В., 102
Марышев Б. С., 98
Матолыгина Н. Ю., 37
Махарова С. Н., 42
Медведев Р. Н., 142
Мелёхина О. С., 21
Меленевский В. Н., 58
Митин К. А., 29, 30
Могилатов В. С., 99
Молокитина Н. С., 100, 119
Морозов Е. Г., 95
Мусакаев Н. Г., 101
Муталова Р. Ф., 112

Н

Нестеров А. А., 102
Нестеров А. Н., 119
Нигматулин Р. И., 62
Никитин Р. Н., 38, 112
Никифоровская В. С., 45
Никольская Я. М., 77
Новиков Д. А., 102, 104–107, 140
Новикова А. В., 19
Нужный Г. А., 40, 108
Нуруллаев Э. М., 109

О

Огородов С. А., 19
Ольховик Е. О., 47, 110
Осипенко Н. М., 111
Осипцов А. А., 73, 112
Охлопкова А. А., 61
Очиров А. А., 40

П

Падерин Г. В., 38, 112, 113, 133
Панин В. Е., 114
Панин С. В., 37, 114
Панфилов А. А., 63
Папин А. А., 115

Перетокин С. А., 115

Петрашев С. В., 143
Петров П. П., 116
Петров С. А., 117
Пец Н. Г., 118
Платонов А. А., 116
Плоткин В. В., 99
Поденко Л. С., 100, 119
Полюхов Д. М., 130
Попов С. Н., 87, 120
Попов В. А., 96
Портнягин А. С., 70
Проворная И. В., 147, 159
Просвиряков Е. Ю., 54
Пяткина Е. В., 121

Р

Разомасов Н. Д., 108
Рогожникова Е. Г., 122
Рожин И. И., 34, 70
Рожков А. Н., 62
Романов А. А., 74
Романов И. С., 46
Рублева Т. В., 74
Рыжков А. В., 72

С

Саватюгин Л. М., 123
Саввина А. В., 87
Савинова М. Е., 120
Савин Д. А., 64
Садовская О. В., 124
Садовский В. М., 124
Садыкова Я. В., 106, 125
Саженков С. А., 88
Сазонов К. Е., 31, 58, 72, 126
Саперштейн И., 31
Саррасино Р., 55
Сасорова Е. В., 90
Сафонов П. И., 57, 58, 127
Семенов А. П., 136
Семенов М. Е., 67, 85, 128
Сесь К. В., 129
Сибиряков М. М., 116
Сизиков А. А., 130
Симонов К. В., 74, 115
Симонов О. А., 100
Симонова Е. О., 100

Ситдиков Р. М., 38
 Ситников И. В., 153
 Скопинцев А. М., 131
 Смирнов В. Н., 75
 Соколова М. Д., 61
 Соловьев М. В., 78, 79, 82
 Соломин А. Е., 139
 Сосновский А. В., 132
 Старовойтова Б. Н., 133
 Степанова К. В., 116
 Стогний П. В., 134
 Стопорев А. С., 130, 135, 136
 Ступрова И. В., 137
 Сукнев С. В., 138
 Сурикова Е. С., 71, 82, 139
 Сурикова Н. С., 114
 Сухорукова А. Ф., 140
 Сыромятникова А. С., 16

Т

Тараканов Р. Ю., 95
 Терехов В. И., 50
 Терешко Д. А., 18
 Тесленко В. С., 141, 142
 Тимофеев О. Я., 31
 Ткачева Л. А., 137
 Токарева М. А., 115
 Толмачева К. И., 112
 Тэйлор Р. С., 55
 Тюльканов А. К., 143

Ф

Фаворская А. В., 134
 Фанкина И. В., 144
 Федоров В. М., 144
 Федоров С. В., 77
 Федоров Ю. Ю., 87
 Федосеев С. С., 20, 146, 149
 Филимонов М. Ю., 43
 Филимонова И. В., 147, 159
 Фокин М. И., 60
 Фомин А. Н., 58
 Фролов Д. М., 144
 Фролов С. А., 33, 63
 Фурцев А. И., 148

Х

Хабахпашева Т. И., 158

Хасанов М. К., 27, 101
 Хлыстова К. Б., 20, 146, 149

Ц

Цуприк В. Г., 150
 Цыпкин Г. Г., 151

Ч

Чалая О. Н., 48
 Черных А. В., 105–107
 Чиглинцева А. С., 27, 152
 Чижевский А. А., 64, 153
 Чиркунов Ю. А., 153, 154

Ш

Шабанова Н. Н., 19
 Шадринов Н. В., 61
 Шалый Е. Е., 155
 Шарифуллин А. Н., 156, 157
 Шарифуллин В. А., 156, 157
 Шель Е. В., 133
 Шестакова Н. И., 25
 Шишмарев К. А., 158

Э

Эдер Л. В., 147, 159

Я

Яковлев А. А., 112
 Яковleva C. P., 41, 42
 Ярославцева Е. С., 160

Выход в свет 03.10.2018.
Усл. печ. л. 18,5

Формат 60×84 1/8.
Уч.-изд. л. 17,0

Офсетная печать.
Тираж 180 экз.

Заказ № 244.

Лицензия ПД N 12-0143 от 22.10.2001
Отпечатано на полиграфическом участке
Института гидродинамики им. М. А. Лаврентьева СО РАН,
630090, Новосибирск, проспект акад. Лаврентьева, 15.