

Информация по выполнению госзаданий за 2020 год

ПО ПРОЕКТУ IX.131.1.6: Геологическое строение, геохимия органического вещества и перспективы нефтегазоносности территорий Восточной Якутии и шельфа Восточно - Сибирского моря

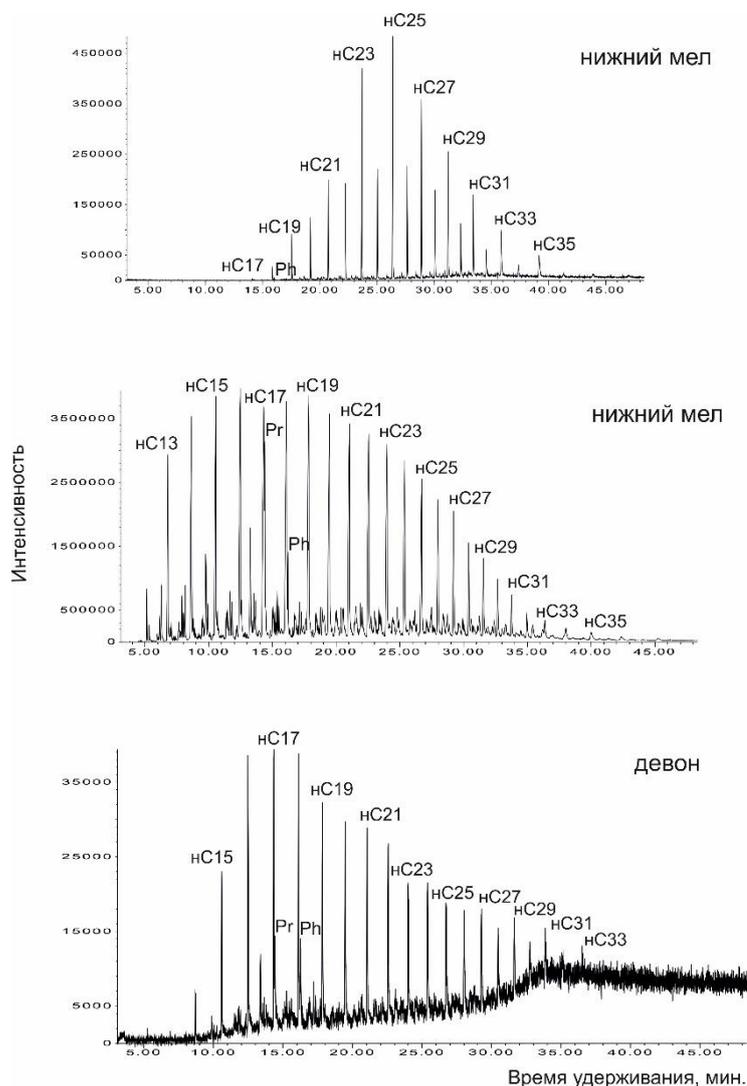
По геологической части проекта:

Проведена качественная оценка перспектив нефтегазоносности восточного сектора арктических территорий Республики Саха (Якутия) и прилегающего шельфа Восточно-Сибирского моря. В результате комплексного анализа геолого-геофизических, литолого-фациальных, геохимических данных и тектонического районирования на исследуемой территории выявлены геологические особенности, благоприятные для генерации и аккумуляции углеводородов, выделены перспективные нефтегазоносные комплексы и нефтегазоматеринские толщи. Даны рекомендации по направлению дальнейших научных исследований и постановке первоочередных нефтегазопроисловых работ.

По геохимической части проекта:

По результатам геохимического изучения нефтематеринских свойств пород дана дифференцированная оценка нефте- и газогенерационного потенциала осадочных толщ в разрезе среднепалеозойских-мезокайнозойских отложений на шельфе Восточно-Сибирского моря и территории северо-востока Сибирской платформы. Впервые по особенностям состава и распределения углеводородов-биомаркеров, присущих аквагенному и террагенному органическому веществу, показано, что в среднепалеозойском комплексе отложений нижнедевонские битуминозные толщи неличенской свиты Селеняхского кряжа и шлюпочной свиты на о. Котельный (Новосибирский архипелаг) с аквагенным ОВ обладали высоким нефтематеринским потенциалом. В Индигиро-Зырянском прогибе нижнемеловые отложения с преобладанием террагенного органического вещества относятся к газогенерирующим с наиболее высоким потенциалом в субугленосных толщах буоркемюсской свиты. Присутствие водорослевого материала повышает нефтегенерационный потенциал органического вещества меловых отложений, что могло обусловить формирование нефтяных оторочек в прогнозируемых газоконденсатных залежах. Смешанное органическое вещество кайнозойских отложений мятисской серии обладало потенциально благоприятными нефтегазоматеринскими свойствами, но эти отложения не достигли термобарических условий «главной зоны нефтеобразования» и с ними не могут быть связаны перспективы нефтегазоносности в рассматриваемом регионе. Резуль-

таты могут быть использованы при прогнозе нефте- и газоносности на шельфе морей Лаптевых и Восточно-Сибирского и прилегающей континентальной части востока Сибирской платформы.



Хроматомасс-фрагментограммы (m/z 57) реликтовых углеводородов генерирующих толщ среднепалеозойско-мезозойских отложений Индигиро-Зырянского прогиба и о. Котельный

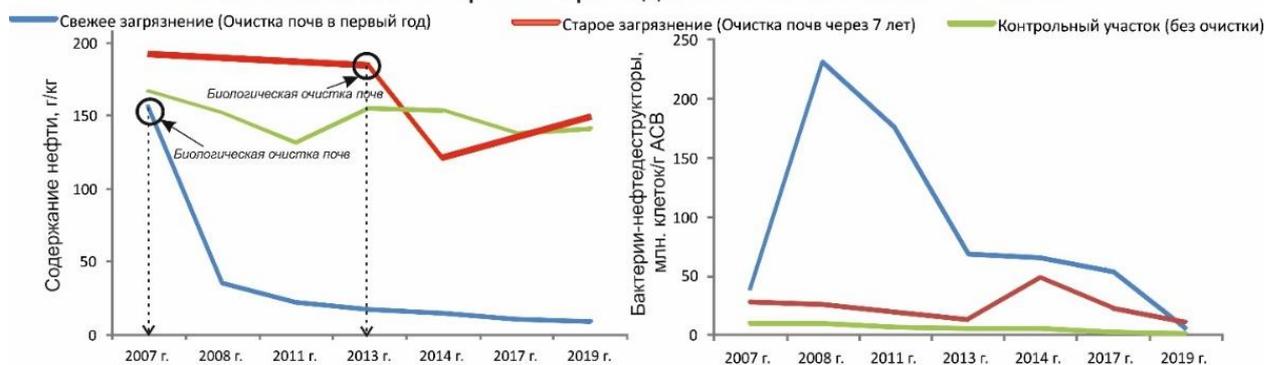
По научному проекту IX.131.1.7. «Научные основы разработки методологии экологического мониторинга и реабилитации нарушенных экосистем криолитозоны на объектах нефтегазодобывающих комплексов» (научный руководитель к.х.н. Ю.С. Глязнецова) получено:

Подведены итоги 14-летнего мониторинга нефтеза-грязненных почв криолитозоны. Показано, что трансформация нефтезагрязнения в природных условиях протекает с накопле-

нием токсичных для почвенных биоценозов ком-понентов по схеме: алифатические углеводороды → циклические нафтеново-ароматические углеводороды → спирто-бензольные смолы с преимущественно ароматической структурой.

Сформирована рабочая коллекция аборигенных угле-водородоокисляющих микроорганизмов, перспективных для очистки почв криолитозоны от нефтезагрязнений. Мониторинг участков, на которых были проведены мероприятия по биологической очистке с использованием аборигенных углеводородоокисляющих микроорганизмов в зависимости от давности загрязнения, показал, что в случае очистки свежего загрязнения даже одноразовое проведение биологической очистки приводит к постепенному (10-12 лет) восстановлению почвы, в то время как очистка старого загрязнения дает только разовый эффект, который в дальнейшем нивелируется процессами миграции нефтезагрязнения, и не ускоряет процессы восстановления почв в целом. Разработан комплекс аналитических показателей для оценки качества проводимых очистных мероприятий. Апробирован новый биологический способ очистки почв от нефтезагрязнений, отличающийся от известных экологической безопасностью и высокой эффективностью в условиях криолитозоны.

Динамика изменения остаточного нефтезагрязнения и содержания углеводородоокисляющих микроорганизмов в почвах в зависимости от сроков проведения биологической очистки



Результаты биологической очистки почв от свежего нефтяного загрязнения



По проекту IX.131.4.5. Термодинамические условия формирования месторождений гидратов природных газов и особенности их разработки в северных регионах (руководитель – д.т.н., доцент И.И. Рожин) получено:

Этап 2020 г. Создать математические модели добычи природного газа в арктической зоне России, позволяющие прогнозировать образование гидратов в призабойной зоне пластов – коллекторов и в эксплуатационных скважинах.

В настоящее время задачи проектирования разработки газовых месторождений решаются в рамках изотермических моделей фильтрации газа. Основное внимание уделяется надлежащему учету геометрии месторождения и свойствам пластов - коллекторов. Необходимые расчеты выполняются с помощью коммерческих вычислительных пакетов, основанных на использовании различных вариантов метода конечных элементов. Такой подход неприемлем для месторождений Крайнего Севера, разработка которых осложняется возможностью образования гидратов природного газа в призабойной зоне и в стволе скважин. В проекте существующие математические модели фильтрации природного газа предполагается обобщить, включив в них уравнение энергии, что позволит прогнозировать динамику изменения температуры и таким образом определять зоны возможного образования гидратов в коллекторах. Научная новизна исследования заключается в совместном рассмотрении неизотермического течения природного газа в призабойной зоне и в стволе газовых скважин с учетом образования (диссоциации) гидратов. Будет использована обобщенная математическая модель неизотермической фильтрации многофазной жидкости в гетерогенной (слоисто неоднородной) пористой среде с учетом образования гидратов (фазовый переход с зависящей от давления температурой).

Цель проекта заключается в расширении знаний о кинетических закономерностях и термодинамических условиях образования/разложения гидратов природного газа в растворах электролитов, а также – в водонефтяных эмульсиях, что позволит более реально моделировать исследуемые процессы и повысить точность и достоверность прогнозирования добычи и транспорта нефти и газа.

Ожидаемые результаты по этапу:

1. В рамках механики многофазных сред будет создана математическая модель неизотермической фильтрации реального газа и воды с учетом фазового перехода «газ+ вода=гидрат», а в рамках трубной гидравлики – математическая модель образования гидратов в скважинах, пробуренных в многолетнемерзлых горных породах.

2. Будут разработаны алгоритмы решения соответствующих прямых задач для нелинейных систем уравнений в частных производных. Будет выполнен анализ пластовых условий на динамику распределения влагосодержания природного газа в призабойной зоне пласта.

Получено: 1. Для модельной задачи отбора газа из скважины в центре кругового пласта с непроницаемыми кровлей и подошвой выполнен анализ влияния начальных пластовых условий на динамику распределения его влагосодержания для оценки интенсивности гидратообразования при различных технологических параметрах добычи природного газа. Из решения осесимметричной задачи неизоэтермической фильтрации газа в пористой среде определяются пластовые давление и температура газа при заданном давлении на забое скважины, затем вычисляются аналогичные зависимости для влагосодержания от времени и координат, основанные на формуле Бюкачека. Результаты показали, что при существенном превышении температуры пласта равновесной температуры гидратообразования распределение влагосодержания в призабойной зоне будет практически идентично распределению температуры. В противном случае газ будет содержать пары воды только вблизи забоя скважины (см. рис.). Роль давления и в том и в другом случае проявляется через интенсивность отбора газа, от которого в свою очередь зависят и интенсивность конвективного переноса тепла, и степень охлаждения газа за счет дросселирования.

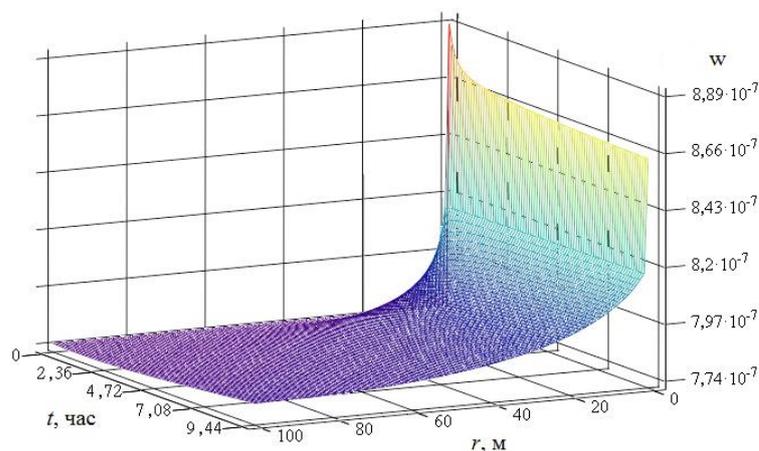


Рис. Динамика распределения влагосодержания газа в пласте при постоянном давлении на забое скважины Отрадинского ГКМ

2. Решена задача образования гидратных пробок при совместной работе газоносного пласта и скважины. Математическая модель, в которой давление и температура газа на забое скважины считаются постоянными, приводит к завышению времени образования гидратной пробки для скважин с пластовой температурой, существенно превышающей равновесную температуру образования гидратов. Для скважин с пластовой температурой примерно равной температуре гидратообразования гидратная пробка может образоваться за 4-5 часов. При этом время полной закупорки будет немного больше в случае, когда в модели учитывается изменение температуры и давления газа на забое скважины в процессе отбора газа.

Рассмотрена обратная задача определения массового расхода газа при изменяющемся по длине и во времени сечении скважины по замерам устьевого давления, которое позволит выявить признаки образования в ней гидратов, заключающиеся в различной динамике распределения давления и температуры по её длине. Зная динамику изменения массового расхода во времени, можно контролировать изменение проходного сечения по всей скважине и в случае необходимости следует проводить мероприятия по предотвращению и удалению гидратов природного газа.

Полученные результаты позволят усовершенствовать методы проектирования систем добычи и транспорта газа в регионах Крайнего Севера и тем самым повысить надежность систем газоснабжения.

По Проекту V.45.2.1. Исследование и разработка полимерных и композиционных материалов для северных и арктических условий эксплуатации (научный руководитель, д.т.н. М.Д. Соколова)

Этап 1. Для определения допустимых условий эксплуатации разработанных полимерных композитов продолжены триботехнические исследования полимерных композитов на основе политетрафторэтилена (ПТФЭ) и сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ), наполненные разными марками дискретных углеродных волокон (УВ) марки УВИС-АК-П производства ООО «НПЦ» УВИКОМ» (Россия) и «Белум» - волокна марки ЛО-1-12Н/40, на поверхность которых методом плазмохимической обработки нанесен слой фторорганических соединений (ОАО «СветлогорскХимволоконо» (Беларусь). Ограничивающими факторами для определения допустимых условий трения полимерных композитов являлись средняя поверхностная температура, коэффициент трения и развитие необратимых деформаций вследствие фрикционного нагрева и нагружения.

На основании проведенных экспериментально-расчетных методов триботехнических исследований ПТФЭ, СВМПЭ и композитов на их основе с УВ марки УВИС-АК-П и «Белум» в широком диапазоне нагрузок и скоростей скольжения с учетом поверхностной температуры и протекания необратимых пластических деформаций в поверхностном слое материала на машине трения ИИ-5018 по схеме диск-диск, в котором происходит имитация работы подшипников скольжения, установлены допустимые нагрузочно-скоростные режимы эксплуатации. Выявлено, что полимерные композиты на основе ПТФЭ с 5-10 мас.% УВ марки УВИС-АК-П работоспособны в режиме сухого трения до достижения $PV = 1,45-1,74$ МПа·м/с; полимерные материалы на основе СВМПЭ рекомендуется применять в несмазываемых подшипниковых узлах трения при $PV = 1,60-1,75$ МПа·м/с, а композит с УВ при $PV = 2,0-2,8$ МПа·м/с.

Триботехническими исследованиями ПКМ на основе ПТФЭ в среде трансмиссионного масла Siboil TAD-17u при повышении нагрузки до 650 Н установлено, что значения коэффициента трения ПКМ не превышают значений, допустимых для антифрикционных полимерных материалов в присутствии смазки, а поверхностная температура в зоне контакта трибосистемы не превышает 70 °С, тогда как допустимая рабочая температура для смазочного материала соответствует 200 °С. Проведением процесса трения СВМПЭ в среде масла марки Siboil TAD-17u при силе поджатия до 1800 Н и скорости скольжения 1 м/с, соответствующий $PV= 18$ МПа·м/с, установлено, что СВМПЭ при таких режимах сохраняет свою работоспособность.

Этап 2. Проведены натурные испытания в условиях резко-континентального климата Республики Саха (Якутия) эластомерных материалов на основе эписхлоргидринового каучука Hydrip T6000, содержащих широко применяемый промышленный противостаритель 6PPD, а также пространственно-затрудненные фенольные противостарители Стафен, СО-3 и СО-4 опытного производства Новосибирского института органической химии СО РАН им. Н.Н. Ворожцова. Экспонирование образцов эластомеров проведено в течение 24 месяцев на открытой атмосферной площадке ИПНГ СО РАН, а также в углеводородных средах нефти Талаканского месторождения и индустриального масла И-50А (рис.1). Установлено, что опытные противостарители по эффективности стабилизации резин превосходят промышленный 6PPD. Показано, что наименьшее изменение прочности при экспозиции в среде воздуха и масла И-50А наблюдается у образцов со Стафеном (до 12,6%), в среде нефти у образцов с СО-4 (до 8,6%), тогда как у других образцов достигают до 46,6% и 17,4% соответственно. В зависимости от условий эксплуатации РТИ на основе Hydrip T6000 можно рекомендовать использование фенольных противостарителей: при работе на воздухе и в среде индустриального масла - Стафен, а в среде нефти - антиоксидант СО-4.



Рис. 1 - Экспозиция резиновых образцов на климатическом полигоне для натурных испытаний

Этап 3. На основе ранее разработанных рецептурных композиций полиэтилена марки ПЭ2НТ11, содержащих пластификаторы дибутилсебацат (ДБС) и диоктилфталат (ДОФ),

изготовлены и исследованы опытные образцы труб. Полученные образцы труб имеют удовлетворительные геометрические характеристики и свариваемость (рис. 2, г, д, е). Показано (рис.2, а-в), что введение в полиэтилен пластификатора ДБС приводит к формированию однородной мелкосферолитной структуры (рис. 2, в). Обнаружено, что вследствие нерастворимости ДОФ в матрице полиэтилена, образуются очаги концентрированного пластификатора (рис.2, б). Полученный результат подтверждается исследованиями степени кристалличности, которая повышается с 50% для исходного полимера до 58% для композита, содержащего ДБС. В совокупности полученные результаты свидетельствуют о повышении сегментальной подвижности макромолекул ПЭ при введении пластификаторов, что отражается в существенном снижении модуля упругости и повышении деформационных характеристик материала как при комнатной так при отрицательных температурах окружающего воздуха.

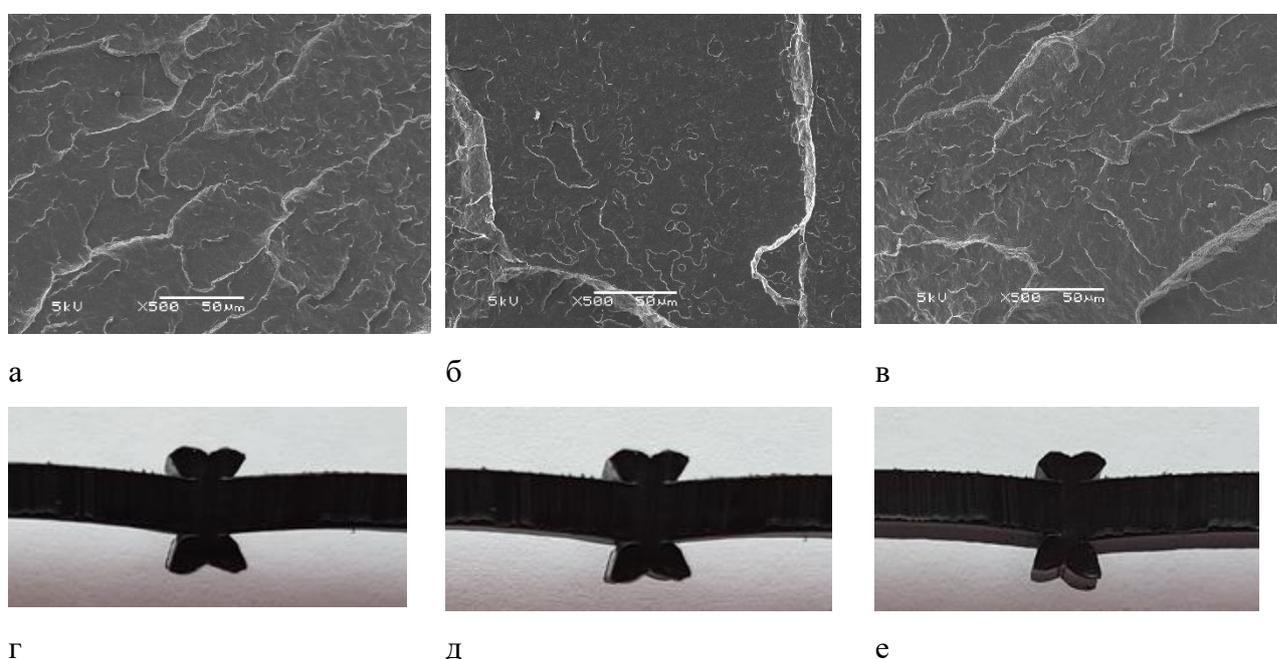


Рис. 2 - Электронные микрофотографии низкотемпературных сколов (x500) и оптическое изображение сварного стыкового соединения образцов труб: а, г – ПЭ2НТ11; б, д – ПЭ2НТ11+3 мас. % ДОФ; в, е – ПЭ2НТ11 + 3 мас. % ДБС

Этап 4. Исследовать коррозионную стойкость и теплофизические свойства асфальтобетонов и оценить их долговечность

Установлено, что асфальтобетоны с применением минеральных порошков из местного минерального сырья характеризуются улучшенными значениями коррозионной устойчивости и низкой зависимостью деформативных свойств от температуры окружающей среды по сравнению с асфальтобетонами с традиционным известняковым минеральным порошком, что положительно скажется на долговечности асфальтобетонных покрытий.

Для внедрения полученных результатов совместно с ОАО «Сахаавтодор» (г. Якутск) на автомобильных дорогах регионального значения «Умнас» и федерального значения «Виллой» были построены опытные участки с применением минеральных порошков из местного сырья Республики Саха (Якутия) общей протяженностью 180 м и проведены их мониторинговые испытания.

Установлен интенсивный рост модуля упругости дорожной одежды с использованием асфальтобетонов традиционного состава, вызванный интенсивным старением вяжущего в композиционном материале. Полученные данные согласуются с результатами группового анализа битумов и подтверждают заключение о существенном влиянии минеральных порошков из местного сырья на снижение интенсивности старения вяжущего.

Оценка состояния экспериментальных участков показала, что они удовлетворяют требованиям нормативных документов по показателям ровности и допустимой глубины колеи. Визуальный осмотр экспериментальных участков выявил незначительное наличие поперечных трещин, характерных, в том числе, и для покрытий из традиционного асфальтобетона.

Таким образом, данные, полученные в ходе мониторинговых исследований покрытий автомобильных дорог с применением минеральных порошков из местного минерального сырья, позволяют сделать заключение о возможности применения таких порошков наряду с традиционно применяемым. Замена традиционных известняковых минеральных порошков на порошки из природного цеолита или бурого угля не приводят к удорожанию строительства автомобильных дорог в климатических условиях Якутии, при этом в перспективе следует ожидать повышение долговечности асфальтобетонных покрытий.

Научная новизна: Анализ группового состава битумов позволил установить механизм замедления интенсивности старения органического вяжущего при использовании пористых минеральных порошков из цеолитов и бурых углей, заключающийся в избирательной диффузии низкомолекулярных компонентов битума поровой системой порошков и их последующей миграции на поверхность частиц в процессе эксплуатации. Обогащение поверхности частиц минеральных материалов маслами и смолами с течением времени позволяет битуму дольше сохранять упругопластические свойства, что замедлит старение вяжущего и позволит повысить долговечность асфальтобетонных покрытий.

Практическая значимость: Проведены опытно-промышленные и мониторинговые испытания разработанных асфальтобетонов с использованием минеральных порошков из местного сырья. Установлено замедление роста модуля упругости покрытий с использованием порошков из бурого угля и цеолита до 1,8 раз по сравнению с тем же показателем у традиционного асфальтобетона, что подтверждает высокую стойкость разработанных материалов к действию термоокислительных процессов в битуме в процессе эксплуатации покрытий.

Этап 5. Разработать технологии сварки полиэтиленовых труб в раструб при низких температурах

Впервые разработана технология оперативной сварки полиэтиленовых (ПЭ) труб нагретым инструментом в раструб при температурах окружающего воздуха (ОВ) ниже минус 15 °С без использования отапливаемых укрытий. Технология основана на управлении тепловым процессом сварки путем предварительного подогрева, выравнивания температур, оплавления в регламентированном режиме и охлаждения соединения в теплоизоляционной камере. Параметры режима сварки при низких температурах определялись по разработанной методике на основе моделирования теплового процесса с учетом кинетики кристаллизации полимерного материала. Эффективность разработанной технологии сварки проверена испытаниями на длительное растяжение. Установлено, что показатели несущей способности раструбных соединений, полученных по разработанной технологии при температурах окружающего воздуха от -50 до -15 °С, не ниже соответствующих показателей соединений, выполненных при допустимых температурах. Разработанная технология может быть использована при монтаже, ремонте и реконструкции полиэтиленовых трубопроводов в зимних условиях Арктики и Субарктики.



1)



2)



3)



4)

Рис. 3. Этапы процесса сварки в раструб ПЭ труб при низких температурах окружающего воздуха: 1) Предварительный подогрев; 2) Выравнивание температур; 3) Оплавление; 4) Охлаждение сварного соединения в теплоизоляционной камере

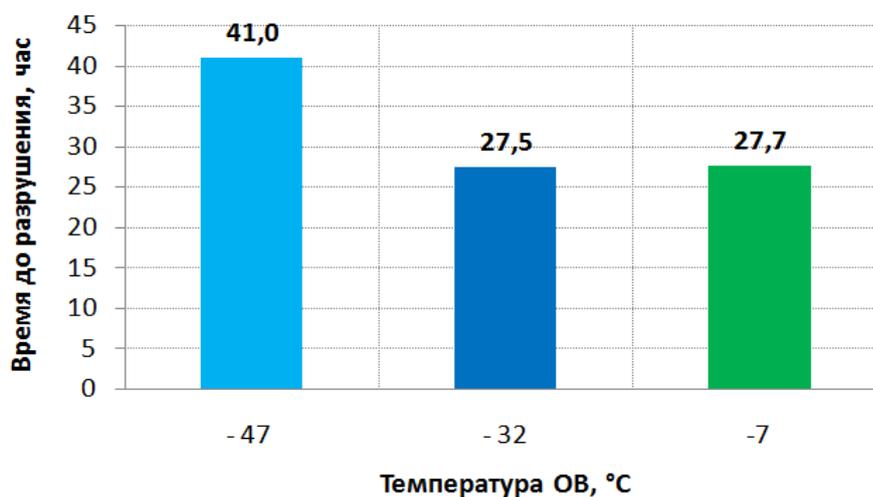


Рис. 4. Время до разрушения образцов при испытаниях в среде с поверхностно-активным веществом при температуре 95°C; Сварка при температуре ОВ – 7°C по стандартной технологии

Научная новизна. Впервые разработана технология сварки полиэтиленовых труб нагретым инструментом в раструб при температурах ниже нормативных, заключающаяся в предварительном подогреве, выравнивании температур, оплавлении в регламентированном режиме и охлаждении в теплоизоляционной камере. Установлено, что показатели кратковременной и длительной несущей способности раструбных соединений, полученных по разработанной технологии при температурах ОВ от -50 °С до -15 °С, не ниже показателей соединений, выполненных при допустимых температурах.

Практическая значимость. Разработанная технология может быть использована при монтаже, ремонте и реконструкции полиэтиленовых трубопроводов в зимних условиях Арктики и Субарктики.

Этап 6. Разработать модифицированные многопараметрические модели прогнозирования, учитывающих одновременное воздействие многих факторов для решения задач прогнозирования долговечности полимерных композитов в сложных условиях эксплуатации

На основе изучения качественных закономерностей структуры показателей эффективности в вариационных постановках задач прогнозирования определяющих характеристик композитов, функционирующих в сложных условиях эксплуатации, разработаны перспективные

методы, которые позволили расширить потенциальные возможности прогнозирования определяющих характеристик композитов и увеличить размеры временного интервала, на котором возможно осуществление прогнозирования с высокой точностью.

Проведены исследования перспективных возможностей разработки эффективных методов оптимального прогнозирования определяющих характеристик композиционных материалов и конструкций из них при одновременном воздействии нескольких экстремальных факторов внешней среды. Проведен конструктивный анализ возможных принципов, на которых должно основываться построение эффективных методов прогнозирования при одновременном комбинированном воздействии нескольких экстремальных факторов на композит.

Установлено, что наибольшей перспективностью обладают подходы, основанные на принципах, связанных с погружением исходной задачи прогнозирования в параметрическое семейство задач по параметру, связанному с числом, воздействующих на композит одновременно экстремальных факторов, и представлением решения исходной задачи прогнозирования в виде многошагового процесса, на каждом шаге которого решаются вспомогательные задачи прогнозирования более простой структуры, соответствующие случаю воздействия только одного из экстремальных факторов на композит.

Перспективность разрабатываемого подхода заключается в том, что открываются новые возможности в разработке методов прогнозирования для задач со все более усложняющейся структурой, при одновременном учете все большего числа экстремальных факторов, воздействующих на композит в различных сочетаниях. На основе проведенных вычислительных экспериментов проведено конструктивное исследование эффективности применения перспективных методов оптимизации многопараметрических показателей эффективности, применяемых в задачах прогнозирования определяющих характеристик композитов в экстремальных условиях, при воздействии экстремальных факторов внешней среды.

Проведен сравнительный анализ эффективности методов многопараметрической оптимизации с учетом структурных особенностей показателей эффективности в задачах прогнозирования остаточного ресурса, долговечности полимерных композитов для построения оптимальных решений в уточненных вариационных постановках задач прогнозирования в выделенных перспективных областях. Проведено конструктивное обоснование применимости ряда методов многопараметрической оптимизации с учетом структурных особенностей показателей эффективности в задачах прогнозирования остаточного ресурса, долговечности полимерных композитов для наиболее эффективного решения задач прогнозирования определяющих характеристик полимерных композитов в выделенных перспективных областях.

На основе сравнительных вычислительных экспериментов проведено исследование за-

дач прогнозирования остаточного ресурса полимерных волокнистых композитов (ПВК), подверженных процессам старения. На основе разработанных многопараметрических моделей прогнозирования проведена оценка погрешностей прогноза, допускаемых при использовании моделей долговечности оптимальной сложности с оптимальным числом параметров. В качестве системы опорных функций при представлении описаний, воздействующих на полимерные, композиционные материалы факторов F_j , в виде рядов, были выбраны системы экспоненциальных функций, описывающих характер процессов старения, происходящих в композите, в соответствии с уравнениями Аррениуса.

При этом показано, что на временном участке ретроспекции могут быть выделены три области, на которых зависимость ошибки прогноза от размеров интервала ретроспекции имеет качественно различающийся характер. Для определенных классов полимерных композиционных материалов проведено выделение и оценка границ выделенных участков ретроспекции. Разработаны рекомендации по эффективному решению задач прогноза на основе дополнительной информации о выделенных участках ретроспекции.

На рис.4 приведены результаты вычислительных экспериментов по прогнозированию остаточного ресурса полимерных волокнистых композитов (ПВК) в рамках уточненных вариационных постановок обратных задач прогнозирования. В качестве исходных данных для построения оптимальных моделей прогнозирования оптимальной структуры и сложности на основе уравнений Аррениуса были использованы результаты физических экспериментов по измерению остаточного ресурса ПВК. На графике приведены одновременно все рассчитанные на основе построенных оптимальных моделей прогнозирования функции долговечности соответственно для интервалов ретроспекции, размеры которых составляют последовательно 3, 5, 7, 9, 11 и 13 лет. На графике кружками отмечены экспериментальные значения. В приведенных обозначениях: R3 – прогноз остаточного ресурса по данным за первые 3 года экспозиции, R5 – по данным за первые 5 лет и т.д.

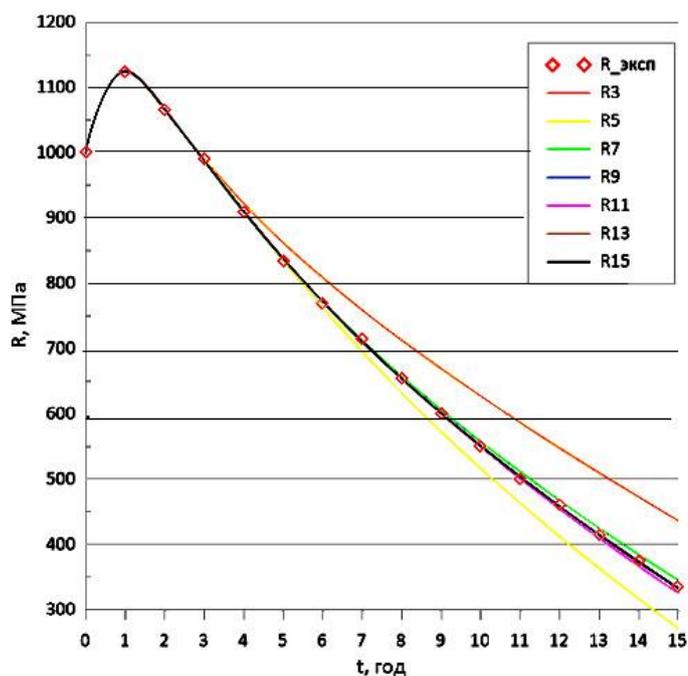


Рис. 4. Функции долговечности, построенные на основе оптимальных обобщенных моделей прогнозирования для интервалов ретроспекции, размеры которых составляют последовательно 3, 5, 7, 9, 11 и 13 лет

Применение разработанных методик может помочь достичь баланс между временем экспонирования и точностью результатов прогноза. Разработанные методики прогнозирования остаточного ресурса композитов могут иметь широкое применение в областях исследований, связанных с прогнозированием остаточного ресурса полимерных композитных материалов, таких как авиа-, и космическая техника, нефтяная и газовая промышленность, судостроение и т.п.

Научная новизна и значимость. Разработаны перспективные подходы к эффективному решению задач прогнозирования, основанные на принципах, связанных с погружением исходной задачи прогнозирования в параметрическое семейство задач по параметру, связанному с числом, воздействующих на композит одновременно экстремальных факторов, и представлением решения исходной задачи прогнозирования в виде многошагового процесса, на каждом шаге которого решаются вспомогательные задачи прогнозирования более простой структуры, соответствующие случаю воздействия только одного из экстремальных факторов на композит.

Практическая значимость, области применения. Применение разработанных методов прогноза в рамках вариационных уточненных постановок обратных задач прогнозирования может помочь достичь баланс между временем экспонирования и точностью результатов прогноза.

Разработанные методики прогнозирования остаточного ресурса композитов могут иметь широкое применение в области исследований, связанных с прогнозированием остаточного ресурса, прочности, долговечности, надежности полимерных композитных материалов, таких как авиа-, и космическая техника, нефтяная и газовая промышленность, судостроение и т.п.