

АННОТАЦИЯ

диссертации Садвакасова Мукана Абдрауковича «Исследование и обоснование применимости модификаторов для повышения прочности и износостойкости материалов, используемых в нефтегазовой отрасли», представленной на соискание ученой степени доктора философии (PhD) по образовательной программе 8D07202 – «Нефтяная инженерия»

Введение. Одной из ключевых проблем в нефтегазовой отрасли, связанной с эксплуатацией нефтяных и газовых месторождений, является разрушение конструкционных материалов под действием агрессивных факторов и окружающей среды. Данная проблема охватывает широкий спектр эксплуатационных условий, включая воздействие высоких температур, давления, коррозионно-активных флюидов, механических нагрузок и вибраций, которые в совокупности приводят к ускоренной деградации материалов, снижению их прочности, герметичности и устойчивости. В условиях эксплуатации нефтепроводов и скважин особенно опасны такие процессы, как коррозия металлов, включая сероводородную (H_2S) и углекислотную (CO_2) коррозию, процессы наводораживания и связанные с ним процессы водородного охрупчивания, кавитационная эрозия в зонах интенсивного турбулентного течения, абразивный износ из-за наличия твердых частиц в транспортируемых средах (песок, шлам), температурные деформации и термоусталость при перепадах температуры и давления. При этом агрессивные воздействия, возникающие в процессе эксплуатации, особенно критичны для цементных растворов и защитных покрытий, которые играют ключевую роль в обеспечении герметичности, антикоррозионной защиты и механической устойчивости скважинных конструкций и трубопроводных систем. Отмеченное подтверждается также анализом литературных источников, которые также свидетельствуют о заметном интересе специалистов и ученых к исследованиям вокруг данной проблемы.

Актуальность работы. Рост интереса к поиску возможностей повышения эффективности использования цементных растворов за счет добавления дешевых и легкодоступных модификаторов, способных повысить герметичность скважин, а также защите трубопроводов от процессов коррозионной деградации и наводораживания путем использования композиционных или многослойных покрытий открывает большие перспективы для проведения научных исследований в данном направлении. При этом основная цель подобных исследований направлена на возможность снижения рисков возникновения аварийных ситуаций, приводящих к простоем оборудования, а также возникновению затрат на проведение ремонтных работ и устранения последствий. Основываясь на вышесказанном, проведение исследований, связанных с комплексной оценкой применимости модификаторов цементных растворов и защитных покрытий, направленной на противодействие ключевым видам деградации трубопроводных систем, представляет собой научно и практически значимую и актуальную задачу не только с фундаментальной точки зрения, но и практического применения.

Решение проблемы комплексной оценки возможности применения модификаторов цементных растворов и защитных покрытий с учетом особенностей месторождений Казахстана является важной задачей народнохозяйственного значения.

В связи с этим данный вопрос продолжает привлекать внимание специалистов, однако несмотря на это, недостаточный объем накопленных теоретических и экспериментальных исследований вносит серьезные затруднения в совершенствование

технологических решений.

Наличие запасов местного сырья в Казахстане создает благоприятные условия для их использования, что требует в свою очередь проведения комплекса теоретических и экспериментальных исследований, направленных на изыскание и повышение эффективности применения модификаторов. Однако недостаточно полная изученность и разработанность практических аспектов комплексной оценки применимости модификаторов цементных растворов и защитных покрытий, направленной на противодействие ключевым видам деградации оборудования, обосновывают целесообразность проведения исследований в рамках настоящей диссертационной работы и ее направленность.

Исходя из этого, тема диссертационной работы М.А. Садвакасова является актуальной, задачи, рассмотренные в ней, отвечают современным запросам практики и развития науки и техники. Этим и объясняется выбор темы данной диссертационной работы.

Обоснование необходимости проведения данной научно- исследовательской работы по теме. Выполненный литературный обзор позволил наметить круг вопросов, на которых необходимо сосредоточить внимание при проведении исследований. В первую очередь необходимость проведения настоящей работы в рамках темы диссертации обосновывается недостаточной полнотой исследований разрушения оборудования, работающего в агрессивной среде, влияния различных факторов на прочностные характеристики. Следует отметить, что проблеме повышения износостойкости и надежности оборудования посвящены труды многих исследователей, внесших большой вклад в развитие научных основ данного направления. Усилиями этих ученых получены интересные с научной и полезные с практической точек зрения результаты. Несмотря на многочисленные исследования в этом направлении, все же некоторые вопросы требуют проведения ряда исследований, связанных с более глубоким изучением влияния среды, различных усилий на коррозионную и механическую стойкость и долговечность оборудования. Этим и обосновывается необходимость проведения научных исследований в рамках данной диссертационной работы.

Цель диссертационной работы. Повышение прочности и износостойкости материалов, используемых в нефтегазовой отрасли, применением модификаторов

Научная новизна диссертации заключается главным образом в обосновании необходимости применения стабилизирующих минеральных добавок в виде бентонита и кремнезема, что приводит к увеличению стабильности прочностных свойств в условиях воздействия внешней агрессивной среды и вибрации; в рамках отмеченного:

- установлено, что добавление стабилизирующих минеральных добавок приводит к увеличению стабильности к высокотемпературной деградации прочностных свойств, а также снижению скорости разупрочнения;
- определены основные механизмы сдерживания процессов наводораживания приповерхностных слоев за счет использования многослойных покрытий;
- установлено, что наличие большого количества слоев приводит к сдерживанию механизмов диффузии водорода в покрытиях, которое выражается не только в увеличении устойчивости к растрескиванию при индентировании образцов покрытий после наводораживания, но и менее выраженным морфологическим изменениям топографии поверхности покрытий, связанных с формированием хиллокоподобных газонаполненных включений на поверхности;

- показано, что многослойные покрытия с количеством слоев 15 – 20 слоев обладают высокими показателями устойчивости к кавитационной эрозии, как в случае низкотемпературных испытаний, так и при повышенных температурах;
- получены закономерности изменения механических прочностных характеристик в зависимости от типа воздействия при испытаниях на кавитационную эрозию, которые позволили сделать вывод о преимуществах использования многослойных покрытий для защиты от воздействия агрессивных сред и вибрации в процессе эксплуатации.

Объект исследования. Методы повышения прочности и износостойкости материалов, используемых в нефтегазовой отрасли.

Предмет исследования. Модификаторы и их воздействие на материалы оборудования в условиях высоких нагрузок, коррозии и абразивного износа.

Задачи исследований. Основываясь на данной цели, были сформулированы следующие задачи диссертационного исследования, включающие в себя два блока комплексных исследований, направленных на определение потенциальных возможностей повышения прочности и износостойкости материалов, используемых в нефтегазовой отрасли:

- исследование методов повышения прочностных и жаропрочных характеристик цементных растворов за счет добавления в состав мелкодисперсной фракции металлургического шлама;
- оценка влияния наноразмерных минеральных добавок в виде бентонита и кремнезема на устойчивость цементных растворов к внешним воздействиям, включая коррозионное, вибрационное и термическое воздействие;
- оценка возможности использования окси – нитридных покрытий в качестве термобарьерных и антикоррозионных защитных покрытий, позволяющих снизить деструктивное разрушение приповерхностных слоев сталей, эксплуатирующихся в экстремальных условиях;
- изучение возможности повышения устойчивости к процессам кавитационной эрозии защитных покрытий при вариации количества слоев в покрытии.

Методы исследования

При выполнении работы использовались экспериментальные методы. Моделирование процессов коррозии в ходе проведения тестовых испытаний на устойчивость к воздействию кислотам проводилось путем размещения блоков цементного раствора в модельные раствора агрессивной среды. Эксперименты на водостойкость и солестойкость проводились в модельных растворах с высокой концентрацией NaCl, имитирующих воздействия пластовых вод на цементные растворы. Определение прочностных параметров было осуществлено с применением метода определения прочности на сжатия, методика которого основана на ГОСТ 10180-2012 и ГОСТ 18105-2018. Испытания на вибропрочность проводились на испытательном сейсмо-вибростенде с учетом требований ГОСТ-30630.0.0-99. Испытания на термическое старение проводились с применением метода термического воздействия на исследуемые образцы цементных растворов в течение длительного времени термического воздействия. Изучение устойчивости многослойных покрытий к внешним воздействиям проводились с использованием методов индентирования, определения адгезионной прочности и трибологических испытаний с целью выявления износостойкости покрытий, а также влияния внешних факторов воздействия на устойчивость покрытий к деградации. Определение степени гидрофобности многослойных покрытий осуществлялось путем

оценки величины краевого угла смачивания исследуемых образцов до и после испытаний. Визуализация структурных особенностей поверхности была выполнена с использованием метода атомно – силовой микроскопии и растровой электронной микроскопии. Эксперименты по наводораживанию образцов с целью определения кинетики деградации, связанной с процессами накопления водорода и последующим водородным охрупчиванием и растрескиванием были осуществлены согласно стандартной методике, соответствующей госту NACE TM0284. Оценка на термоизоляцию была осуществлена путем проведения тестовых испытаний, связанных с измерением разности температур с лицевой и обратной стороны исследуемых образцов стали с нанесенными защитными покрытиями и без них с применением статистических методов. При изучении устойчивости на кавитационную эрозию исследуемых покрытий в зависимости от количества слоев были проведены согласно стандарту ASTM G32 (вибрационный метод).

Основные положения, выносимые на защиту:

- оптимальные составы модификаторов для повышения сопротивляемости к высокотемпературной деградации цементных растворов и механизм воздействия мелкодисперсной и ультрамелкодисперсной фракции стабилизирующих добавок в виде порошка гематита на изменение прочностных свойств цементных растворов, а устойчивость к длительному термическому нагреву за счет повышения сопротивления к высокотемпературной деградации, связанной с растрескиванием и охрупчиванием;
- оптимальные составы цементных растворов, модифицированных минеральными добавками и факторы сдерживающие механизм деградации при воздействии агрессивных сред;
- результаты исследований влияния количества слоев в AlN-TiO₂ покрытиях при соблюдении общей толщины на устойчивость к внешним механическим воздействиям (давление, трение) за счет наличия межслойных границ, препятствующих распространению микротрещин при внешних нагрузках;
- оптимальный состав и количество слоев многослойных AlN-TiO₂ покрытий для защиты от кавитационной коррозии и деградации.

Практическая значимость полученных результатов

Результаты оценки влияния добавления стабилизирующих минеральных добавок к цементным растворам в виде наноразмерных порошков бентонита и кремнезема на устойчивость к внешним воздействиям, включая коррозионное воздействие, связанное с агрессивными кислотными и солевыми средами, вибрацию и термическое старение при различных температурах в дальнейшем могут быть использованы при разработке технологических решений, связанных с модификацией цементных растворов, обладающих повышенной сопротивляемостью к внешним воздействиям.

Результаты экспериментов, направленных на определение теплоизоляционных характеристик исследуемых покрытий показал, что увеличение количества слоев приводит к повышению разницы температур с лицевой и обратной стороны, что свидетельствует о росте теплоизоляции, обусловленной наличием межслойных границ, наличие которых приводит к замедлению теплопередачи. Полученные результаты в дальнейшем могут быть использованы для разработок теплоизоляционных защитных покрытий.

Полученные результаты оценки применимости окси – нитридных многослойных покрытий в качестве защитных покрытий в дальнейшем могут быть рассмотрены как один

из альтернативных вариантов для решения проблемы защиты нефте- и газотрубопроводов от коррозии и наводораживания.

Теоретическая значимость работы

В работе получены новые с научной и полезные с практической точек зрения результаты, которые направлены на решение проблемы повышения эффективности разработки месторождений, что в свою очередь способствует улучшению технико-экономических показателей и является важной народнохозяйственной задачей. Так, теоретическая значимость модифицированных цементных растворов с минеральными добавками заключается в улучшении их физико-механических свойств, повышении долговечности, снижении себестоимости и уменьшении отрицательного экологического воздействия. Эти добавки меняют структуру цементного камня, оказывая влияние на гидратацию, повышая прочность и устойчивость, что обуславливает экономическую эффективность.

Результаты соискателя нашли своё отражение в публикациях в авторитетных журналах и докладах на конференциях, тексты которых входят в сборники, входящие в наукометрические базы SCOPUS и WOS. Отмеченное подтверждает чёткую направленность полученных результатов на решение как актуальных теоретической, так и практической, имеющей важное народнохозяйственное значение, задач.

Достоверность полученных результатов

Все экспериментальные работы были выполнены с использованием стандартизированных методик и использованием сертифицированного оборудования. Все эксперименты были проведены в несколько параллелей, позволяющих исключить проблемы с измерениями и возникновением ошибок при анализе и расчетах. Для всех измеряемых величин были определены величины стандартного отклонения и погрешности измерений.

Личный вклад соискателя

Выполнение экспериментальных работ, связанных с оценкой перспектив использования различных добавок в цементирующие растворы, а также проведение экспериментальных работ, связанных с оценкой устойчивости защитных покрытий к коррозионному воздействию были выполнены соискателем совместно с научными консультантами на базе Лаборатории физики твердого тела АФ ИЯФ РК. Все расчеты, оценка и построение моделей, описывающих основные результаты проведенных экспериментов были выполнены соискателем лично при участии зарубежного консультанта в рамках научной стажировки в Институте нефти и газа Национальной Академии наук Азербайджана.

Связь работы с научно – исследовательскими проектами, программами

Диссертационная работа соискателя выполнена в рамках реализации основных задач грантового финансирования АР26195325 «Исследование технологических методов для повышения эффективности извлечения нефти из сложных и неоднородных пластов нефтяных месторождений Западного Казахстана» (период реализации 2025 – 2027 гг.) и АР23484034 «Разработка методологии оценки качества, рисков ситуаций и принятия решений при креплении стенок скважин в осложнённых условиях» (период реализации 2024 – 2026 гг.) выполняемых при поддержке и финансировании Комитетом науки МНВО РК.

Апробация результатов диссертационной работы

Результаты работы прошли апробацию в виде научных семинаров на базе Института нефти и газа Национальной Академии наук Азербайджана (Баку, Азербайджан) в рамках

научной стажировки соискателя, а также на научных семинарах кафедры Нефтяной инженерии Института геологии и нефтегазового дела им. К. Турысова и Института геологических наук им. К. И. Сатпаева. В рамках данных семинаров были представлены основные результаты проведенных исследований, а также обсуждены дальнейшие возможности их практического применения.

Публикации

Результаты работы были опубликованы в 7 статьях в научных изданиях, 4 статьи из которых опубликованы в высокорейтинговых научных изданиях, индексируемых в базе данных Scopus, 3 статьи опубликованы в журналах, рекомендованных КОКСНВО.

Структура и объем диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, 4 разделов, заключения, списка использованных источников из наименований. Работа изложена на страницах, включает рисунка и таблицы.