

ОТЗЫВ

официального оппонента на кандидатскую диссертацию
ПОПКОВОЙ Юлии Ивановны по теме «ПОВЫШЕНИЕ КОРРОЗИОННОЙ
СТОЙКОСТИ И ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ ПОДЗЕМНОГО
ОБОРУДОВАНИЯ НЕФТЕДОБЫВАЮЩИХ СКВАЖИН», представленную
к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 05.16.09 – Материаловедение (машиностроение)

1. Соответствие диссертации специальности и отрасли науки, по которым она представлена к защите

Диссертационная работа соответствует специальности 05.16.09 – Материаловедение (машиностроение) и отрасли технические науки, так как посвящена исследованию закономерностей влияния элементного состава и структуры трубных сталей на их коррозионную стойкость в условиях эксплуатации нефтяных месторождений Припятского прогиба, развитию метода прогнозирования срока службы и оценки остаточного ресурса насосно-компрессорных труб при эксплуатации в скважинных условиях, разработке методологии выбора материалов насосно-компрессорных труб для эксплуатации в различных по степени коррозионной агрессивности средах и повышения эксплуатационной надежности подземного оборудования скважин.

Диссертация соответствует паспорту специальности 05.16.09, утвержденному Приказом Высшей аттестационной комиссии Республики Беларусь от 29.11.2023 г. № 293, в части пунктов 2, 5, 8 раздела III «Области исследований», а именно:

п. 2 – Закономерности изменения механических, физических, физико-химических и других эксплуатационных свойств материалов в условиях их практического использования в определенных областях, и взаимосвязь этих изменений с изменением их фазового и химического состава.

п. 5 – Методы улучшения технологических (обрабатываемости, деформируемости, свариваемости и др.) и эксплуатационных (циклической прочности, износостойкости, теплостойкости, коррозионной стойкости и др.) свойств материалов и изделий из них. Покрытия, изменяющие эти свойства и методы управления их качеством.

п. 8 – Методы прогнозирования и оценки остаточного ресурса материалов при их эксплуатации в различных областях. Методология выбора материалов для изготовления конкретных изделий для соответствующих отраслей.

2. Актуальность темы диссертации

Эффективность нефтедобычи в значительной степени зависит от эксплуатационной надежности подземного оборудования, в частности, от ресурса насосно-компрессорных труб. В Республике Беларусь нефтяные месторождения, приуроченные к Припятскому прогибу, в своем большинстве находятся на поздней стадии разработки и характеризуются все возрастающим обводнением, происходящим по мере выработки запасов нефти. Снижение продуктивности скважин требует увеличения глубины спуска насосного

оборудования, что ухудшает условия его работы вследствие роста температуры и гидростатического давления скважинной жидкости. Наряду с этим, зачастую, попутно добываемые воды представляют собой крепкие рассолы хлоридно-кальциевого типа, содержащие растворенный углекислый газ. Перечисленные факторы повышают коррозионную агрессивность добываемого флюида и, как следствие, приводят к снижению эксплуатационной надежности подземного оборудования.

Диссертационная работа Ю.И. Попковой направлена на решение важной задачи, связанной с разработкой методов повышения надежности подземного оборудования, эксплуатируемого в условиях различного вида коррозионного воздействия в скважинных средах нефтяных месторождений Припятского прогиба, и это характеризует необходимость проведенных научных исследований.

В данной диссертационной работе рассмотрены актуальные вопросы материаловедения, включая изучение закономерностей влияния на коррозионную стойкость состава и структуры трубных сталей, характеристик скважинных сред и условий эксплуатации. В работе исследована коррозионная стойкость насосно-компрессорных труб с внутренним эпоксидно-фенольным покрытием, адаптирована методика прогнозирования скорости коррозии трубной стали с учетом региональных особенностей нефтяных месторождений Припятского прогиба, проведена классификация скважинных сред по группам в зависимости от их коррозионной агрессивности, разработаны научные основы выбора материалов насосно-компрессорных труб с повышенной коррозионной стойкостью для условий нефтяных месторождений, осложненных возможностью протекания углекислотной коррозии, а также предложена методология прогнозирования срока службы насосно-компрессорных труб в различных скважинных условиях, что предопределяет несомненную востребованность полученных результатов в сфере белорусской нефтедобычи и обуславливает актуальность тематики рассматриваемой диссертационной работы.

Диссертационная работа Попковой Ю.И. соответствует приоритетным направлениям научной, научно-технической и инновационной деятельности в Республике Беларусь на 2021-2025 годы, утвержденным Указом Президента Республики Беларусь 07.05.2020 № 156 «О приоритетных направлениях научной, научно-технической и инновационной деятельности на 2021–2025 годы» (раздел 4 – машиностроение, машиностроительные технологии, приборостроение и инновационные материалы (машиностроение и машиноведение) и выполнена под руководством члена-корреспондента НАН Беларуси Григорьева А.Я.

Работа включает теоретические исследования и экспериментальные данные, полученные при проведении целого ряда научно-исследовательских работ и хозяйственных договоров БелНИПИнефть, направленных на определение скорости коррозии насосно-компрессорных труб в различных условиях и степени влияния различных факторов на скорость коррозии, изучение про-

цессов коррозии трубных сталей в условиях эксплуатации подземного оборудования и трубопроводов систем нефтегазосбора, разработку методологии подбора антикоррозионных материалов для подземного оборудования добывающих и нагнетательных скважин, разработку инженерно-технологического обеспечения эксплуатации механизированного фонда скважин в различных геолого-промысловых условиях, выбор трубных сталей для условий коррозионно-агрессивных сред, испытания насосно-компрессорных, нефтегазопроводных труб и сварных стыков нефтегазопроводных труб для условий коррозионно-агрессивных сред, что подтверждает ее несомненную актуальность.

3. Степень новизны результатов, полученных в диссертации, и научных положений, выносимых на защиту

Результаты диссертационного исследования являются новыми. Их новизна подтверждена публикациями в научных рецензируемых изданиях, апробацией на международных научно-технических и производственно-технических конференциях, и заключается в следующем:

- экспериментально обосновано ранжирование скважинных сред нефтяных месторождений Припятского прогиба по степени коррозионной агрессивности на три группы, согласно уровням значений температуры и гидростатического давления скважинной среды ($< 40\text{ }^{\circ}\text{C}$, $< 10\text{ МПа}$; $40 - 55\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\geq 10\text{ МПа}$; $55 - 88\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\geq 10\text{ МПа}$), соответствующих переходу от сплошной коррозии к локальной язвенной и интенсивной локальной язвенной;

- впервые установлена связь содержания хрома и марганца, а также вида и параметров структуры трубной стали с коррозионными процессами, заключающаяся: а) в изменении механизма коррозии со сплошного на локальный язвенный при содержании хрома 1,0 масс.% и марганца свыше 0,8 масс.% со структурой стали «феррит+сорбит, бейнит»; б) в увеличении скорости коррозии в 1,3 раза для сталей, содержащих хром до 1,0 масс.% при наличии в них структуры Видманштетта (Widmanstätt); в) в изменении механизма коррозии с локального язвенного на сплошной при увеличении балла зерна с 10 до 12 для среднеуглеродистых марганцовистых сталей со структурой «феррит+сорбит, бейнит»;

- доказано увеличение стойкости среднеуглеродистых марганцовистых трубных сталей при их микролегировании бором, кальцием, ниобием и алюминием, обусловленное их влиянием на изменение балла зерна сталей с 10 до 12, что препятствует появлению локальных коррозионных повреждений.

На защиту соискателем вынесены научные положения, характеризующиеся новизной и отражающие:

- разработку экспериментальной установки и методики, проведения коррозионных испытаний трубных сталей, обеспечивающие возможность реализации в лабораторных условиях протекания механизмов коррозии сталей насосно-компрессорных труб, идентичных наблюдаемым в условиях их реальной эксплуатации;

– закономерности влияния на коррозионную стойкость состава и структуры трубных сталей, а также характеристик скважинных сред и условий эксплуатации, на основании которых разработаны рекомендации и технические решения, позволившие увеличить срок службы насосно-компрессорных труб с 1,5 до 5 лет и полностью исключить случаи их отказа по причине сквозной и эрозионной коррозии;

– результаты лабораторных и натурных испытаний защитного эпоксидно-фенольного покрытия на внутренней поверхности насосно-компрессорных труб, позволившие установить предельные значения условий его применения в средах крепких рассолов хлоридно-кальциевого типа, содержащих растворенный углекислый газ, соответствующие температуре + 90 °С, давлению 27 МПа и скорости потока добываемой жидкости 0,4 м/с, и рекомендовать использование данного покрытия вместо ингибиторной защиты подземного оборудования высокодебитных нефтяных скважин при отсутствии условий возникновения эрозионной коррозии;

– результаты адаптации расчетного метода оценки скорости коррозии по стандарту NORSOK M-506 к условиям эксплуатации нефтяных месторождений Беларуси, обеспечившие сходимость расчетных данных с фактическими результатами, полученными в условиях реальной эксплуатации, с коэффициентом детерминации $R^2 = 0,984$, что позволило с высокой степенью точности расчетным методом определять ресурс насосно-компрессорных труб и устранить их преждевременный выход из строя по причине сквозной коррозии;

– результаты опытно-промышленной апробации научно обоснованных принципов выбора марок стали для насосно-компрессорных труб скважин нефтяных месторождений Припятского прогиба, позволившие получить на предприятиях РУП «Производственное объединение «Белоруснефть» за период 2019 – 2023 год экономию средств в размере 1,7 млн. руб., из которых долевое участие автора составило 50 % (850 тыс. рублей).

4. Обоснованность и достоверность выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Защищаемые положения, результаты и рекомендации, приведенные в диссертации, являются обоснованными и не противоречат основополагающим представлениям материаловедения. Выводы по работе аргументированы и органично вытекают из результатов проведенных исследований.

Достоверность представленных в работе экспериментальных данных обеспечена использованием специально разработанного испытательного оборудования, а также применением современных научно-исследовательских приборов для изучения характеристик сталей насосно-компрессорных труб и внутреннего полимерного покрытия, а также характеристик скважинных сред. Полученные результаты подтверждены актами опытно-промышленной эксплуатации, нормативно-технической документацией РУП «Производственное объединение «Белоруснефть».

5. Научная, практическая, экономическая и социальная значимость результатов диссертации с указанием рекомендаций по их использованию

Научная значимость результатов диссертации состоит в разработке теоретических положений, заключающихся в установлении закономерностей влияния на коррозионную стойкость насосно-компрессорных труб состава и структуры сталей, характеристик скважинных сред и условий эксплуатации нефтяных месторождений, попутно добываемые воды которых представляют собой крепкие рассолы хлоридно-кальциевого типа с содержанием растворенного углекислого газа, а также в адаптировании методики прогнозирования скорости коррозии сталей насосно-компрессорных труб по стандарту NORSOK M-506 к условиям эксплуатации нефтяных месторождений Беларуси, что можно оценивать как вклад в дальнейшее развитие научной методологии выбора материалов насосно-компрессорных труб в зависимости от степени коррозионной агрессивности скважинных сред.

Практическая значимость результатов диссертации состоит в разработке методики проведения лабораторных коррозионных испытаний трубных сталей, обеспечивающей возможность реализации различных механизмов коррозии, включая язвенную, эрозионную и др., идентичных наблюдаемым в условиях реальной эксплуатации насосно-компрессорных труб, в выработке рекомендаций по выбору марок сталей для насосно-компрессорных труб, эксплуатирующихся на нефтяных месторождениях Припятского прогиба, расклассифицированных на три группы по коррозионной агрессивности скважинных сред, а также в разработке нормативно-технической документации, устанавливающей требования к насосно-компрессорным трубам и компоновкам подземного оборудования в зависимости от степени агрессивности скважинных сред, что позволило исключить отказы в работе подземного оборудования скважин нефтяных месторождений Беларуси по причине коррозии и продлить срок службы насосно-компрессорных труб с 1,5 до 5 лет.

Экономическая значимость результатов диссертационного исследования заключается в том, что на основании классификации скважинных сред по степени коррозионной агрессивности и разработанных научных методов выбора насосно-компрессорных труб с повышенной коррозионной стойкостью достигнуто повышение эксплуатационной надежности подземного оборудования нефтедобывающих скважин, обеспечившее получение экономического эффекта в размере 1,7 млн. рублей, из которых долевое участие автора составило 50 % (850 тыс. рублей).

Социальная значимость результатов диссертационного исследования заключается в повышении рентабельности добычи нефти — одного из важных компонентов сырьевых ресурсов Республики Беларусь.

Полученные результаты и разработанные технические решения могут быть рекомендованы к использованию на нефтяных месторождениях, попут-

но добываемые воды которых представлены крепкими рассолами хлоридно-кальциевого типа, содержащими растворенный углекислый газ.

6. Опубликованность результатов диссертации в научной печати

По результатам исследований опубликовано 17 научных работ, в том числе, 5 статей в научных изданиях в соответствии с п. 19 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь, 3 статьи в прочих научных изданиях, 3 статьи в научно-технических сборниках и материалах конференций, 3 тезиса докладов на конференциях и 3 нормативно-технических документа.

7. Соответствие оформления диссертации требованиям ВАК

Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, пяти глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Полный объем диссертации составляет 199 страниц, в том числе 93 страницы машинописного текста, 42 рисунка на 16 страницах, 5 таблиц на 4 страницах, списка использованных источников из 154 наименований на 13 страницах, списка опубликованных работ соискателя из 17 наименований на 3 страницах, 13 приложений на 70 страницах.

Объем диссертации и автореферата полностью соответствуют Инструкции по оформлению диссертации и автореферата Высшей аттестационной комиссии Республики Беларусь.

Содержание автореферата соответствует содержанию диссертации.

8. Соответствие научной квалификации соискателя ученой степени

Представленная Попковой Ю.И. диссертационная работа на соискание ученой степени кандидата технических наук характеризуется системным подходом к планированию, организации и проведению теоретических и экспериментальных исследований, посвящена изучению выбранной научной проблемы и содержит все компоненты, предусмотренные пунктом 20 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь.

Квалификация соискателя соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатам технических наук, защищающим диссертацию по специальности 05.16.09 – Материаловедение (машиностроение).

9. Замечания по диссертации

По диссертационной работе можно сделать следующие замечания:

1. В работе отмечается, что к числу основных причин выхода из строя насосно-компрессорных труб относится эрозионная коррозия. Известно, что одним из факторов, существенно влияющих на интенсивность эрозионного изнашивания (эрозионной коррозии), является скорость потока жидкости (или газа). Однако в приведенном в диссертационной работе соотношении (3.24), которое определяет критерий возникновения эрозионной коррозии,

отсутствует этот фактор в явном виде. Его, конечно, можно оценить, используя присутствующий в соотношении (3.24) фактор дебита добываемой жидкости, однако связь между этими факторами может оказаться неоднозначной.

2. Переходы от одного вида коррозионного разрушения к другому обусловлены как различной интенсивностью протекания физико-химических процессов коррозии при различных условиях, так и отличиями в физико-механических свойствах образующихся продуктов коррозии и их физическое взаимодействие с движущейся жидкой средой (в случае присутствия таковой). Поэтому сложно согласиться с соискателем в том, что переходы от одного вида коррозии к другому (в частности, от сплошной равномерной к локальной язвенной и от локальной язвенной к интенсивной локальной язвенной) наблюдаются при строго определенных уровнях температуры (с точностью, как указано в работе (с. 63), до одного градуса, а именно: первый – при +55 °С включительно и второй – при +88 °С включительно). Скорее всего, появление такого рода строгих пределов может быть результатом статистической обработки массива экспериментальных данных, а в действительности подобные переходы происходят в некотором довольно широком температурном интервале, и было бы корректнее указывать такие пределы в виде каких-то округленных чисел без столь строгой их фиксации.

3. При том, что для исследованных в работе четырех нефтяных месторождений Припятского прогиба (Осташковичское, Южно-Осташковичское, Южно-Сосновское и Речицкое) наличие сероводорода в добываемом флюиде не было обнаружено, в целом, сероводород весьма часто присутствует в нефти, и проблема борьбы с сероводородной коррозией подземного оборудования нефтедобывающих скважин зачастую встает весьма остро. Поэтому, соискателю, вероятно, стоило бы изучить влияние сероводорода на процессы коррозии насосно-компрессорных труб, что придало бы диссертационной работе еще большую комплексность и расширило бы возможности применения полученных результатов за пределами четырех исследованных нефтяных месторождений Припятского прогиба.

4. В связи с тем, что вопрос о влиянии размера зерна на скорость коррозии остается в настоящее время дискуссионным, и существуют высказывания как о позитивном, так и негативном влиянии измельчения зерна на интенсивность протекания коррозионных процессов, соискателю, вероятно, следовало бы провести более глубокие исследования, результаты которых однозначно объяснили бы обнаруженный в работе эффект повышения коррозионной стойкости среднеуглеродистых марганцовистых сталей с изменением механизма коррозии с локального язвенного на сплошной при диспергировании зеренной структуры с увеличением балла зерна от 10 до 12. Высказанное в работе предположение, что измельчение структурных составляющих и их равномерное распределение в металле выравнивает потенциал поверхности, уменьшает ток микропар и снижает скорость коррозии требует экспериментального подтверждения.

Сделанные замечания нисколько не снижают научную и практическую значимость полученных Попковой Ю.И. результатов, носят, в большей степени, характер пожеланий и свидетельствуют о сложности и многоаспектности проблемы, решаемой диссертантом.

Заключение

Диссертация Попковой Юлии Ивановны соответствует пункту 20 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь.

Соискатель Попкова Ю.И. заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.09 – Материаловедение (машиностроение) за новые научно-обоснованные результаты, включающие:

- разработку экспериментальной установки и методики проведения коррозионных испытаний сталей для насосно-компрессорных труб в скважинной среде нефтяных месторождений, обеспечивающих возможность реализации в лабораторных условиях протекания механизмов коррозии, идентичных наблюдаемым в условиях реальной эксплуатации насосно-компрессорных труб;

- установление закономерностей влияния на коррозионную стойкость состава и структуры трубных сталей, а также характеристик скважинных сред и условий эксплуатации, позволивших увеличить срок службы насосно-компрессорных труб с 1,5 до 5 лет и полностью исключить случаи их отказа по причине сквозной и эрозионной коррозии;

- установление предельных условий применения защитного эпоксидно-фенольного покрытия на внутренней поверхности насосно-компрессорных труб по температуре (не выше +90 °C), давлению (не выше 27 МПа и скорости потока добываемой жидкости (не более 0,4 м/с), рекомендованного к использованию вместо ингибиторной защиты подземного оборудования высокодебитных нефтяных скважин при отсутствии условий возникновения эрозионной коррозии;

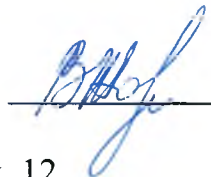
- адаптацию расчетного метода оценки скорости коррозии по стандарту NORSOK M-506 к условиям эксплуатации нефтяных месторождений Беларуси, обеспечившего сходимость расчетных и фактических данных с коэффициентом детерминации $R^2 = 0,984$, что позволило с высокой степенью точности прогнозировать эксплуатационный ресурс насосно-компрессорных труб и устранить их преждевременный выход из строя по причине сквозной коррозии;

- разработку научно обоснованных принципов выбора марок стали для насосно-компрессорных труб в зависимости от режимов их эксплуатации и степени коррозионной агрессивности скважинных сред,

что в совокупности позволило повысить коррозионную стойкость и эксплуатационную надежность подземного оборудования нефтяных место-

рождений Припятского прогиба, попутно добываемые воды которых представляют собой крепкие рассолы хлоридно-кальциевого типа, содержащие растворенный углекислый газ, и нашло применение в РУП «Производственное объединение «Белоруснефть» со значительным экономическим эффектом.

Официальный оппонент,
заведующий лабораторией
«Наноструктурные и сверхтвердые
материалы» государственного научного
учреждения «Объединенный институт
машиностроения НАН Беларуси»,
доктор технических наук, профессор



В.И. Жорник

Адрес: 220072, г. Минск, ул. Академическая, 12
Телефон: +375 (17) 379 25 18
E-mail: zhornikv@gmail.com

Подпись д.т.н., проф. Жорника В.И. удостоверяю.
Заместитель генерального директора
по общим вопросам ГНУ «Объединенный институт
машиностроения НАН Беларуси»
17.05.2024



А.Е. Черепко