

## **О Т З Ы В**

официального оппонента **Емелюшина Алексея Николаевича**, доктора технических наук, профессора, профессора кафедры «Литейные процессы и материаловедение» ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» на диссертационную работу **Князевой Жанны Валерьевны** «Исследования причин разрушения и разработка комплексной методики оценки свойств защитных покрытий корпусов погружных электродвигателей, эксплуатирующихся в нефтяных скважинах», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17. – Материаловедение

### **1. Актуальность темы диссертационной работы.**

Повышение коррозионной стойкости нефтепромыслового оборудования является актуальной задачей нефтяной промышленности. В настоящее время добыча нефти на освоенных и особенно на новых месторождениях связана с интенсификацией работы оборудования, что приводит к уменьшению межремонтного периода эксплуатации традиционного нефтедобывающего оборудования, а постоянное усложнение условий добычи, вызывает появление новых технологий добычи нефти и нового оборудования. Так доля штанговых насосов, которые длительное время доминировали в нефтедобыче, неуклонно сокращается и в настоящее время не превышает 20 %. Их замещают электроцентробежными насосами (так называемые УЭЦН – установки электроцентробежного насоса), а погружной электродвигатель является основным узлом этой установки, поскольку он вращает центробежный насос перекачивающий добываемую нефть.

Основными причинами, приводящими к выходу из строя погружного оборудования, являются засорение примесями и коррозионное разрушение. Устранение отказов УЭЦН в процессе эксплуатации является достаточно сложным и дорогостоящим процессом. Для скважины со средним дебитом простая остановка, извлечение погружного насоса, его ремонт и восстановление эксплуатации скважины стоит в среднем 75 000 – 100 000 долларов.

Методов защиты от коррозии существует достаточно много, но все они имеют те или иные недостатки, ограничивающие их применение.

Работы по повышению эксплуатационной стойкости нефтяного оборудования ведутся как в Российской Федерации, так и за рубежом, но имеющихся данных по исследованию металлических покрытий для создания методических рекомендаций по проведению исследований и испытаний покрытий, применяемых для защиты нефтяного оборудования, не достаточно.

Исходя из отмеченного работа Ж.В. Князевой направленная на создание комплексной методики оценки свойств защитных покрытий и совершенствование металлических покрытий для защиты погружных электродвигателей является очень актуальной задачей.

### **2. Структура, объем, форма изложения диссертации**

Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет».

Диссертационная работа состоит из введения, шести глав основной части, общих выводов, списка использованных источников, включающего 116 наименований. Объем работы – 209 страниц машинописного текста, включая 71 рисунок, 39 таблиц и 3 приложений на 45 страницах.

Диссертация написана четким грамотным языком, иллюстрации хорошо дополняют и поясняют текст. Замечаний по оформлению нет. По теме диссертации опубликовано 9 работ, из них 4 - в изданиях, рекомендованных ВАК, 1 статья в журнале, входящем в базы данных Scopus и Web of Science. Автором получен 1 патент РФ В публикациях автора достаточно полно освещены основные результаты теоретических и экспериментальных исследований.

Выступления Князевой Ж.В. с докладами на Международных научно-технических конференциях свидетельствуют о том, что ее работы достаточно широко известны научной общественности.

### **3 Краткое содержание работы**

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы; сформулированы цель и задачи исследования; научная новизна, теоретическая и практическая значимость; приведены основные положения, выносимые на защиту.

**Первая глава** диссертации носит обзорный характер, в ней проведен анализ состояния вопроса по защите корпусов погружных электродвигателей от коррозии и износа. На основе анализа публикаций отечественных и зарубежных авторов, выявлены перспективные материалы покрытий и способы их нанесения на погружное оборудование. Отмечено, что наибольшее применение получили физические методы защиты: применение погружных электродвигателей в коррозионностойком исполнении (из нержавеющей стали); катодная защита; применение защитных полимерных и металлизационных покрытий.

Сделан вывод, что в настоящее время к числу перспективных методов нанесения защитных покрытий относятся плазменное и газопламенное нанесение, позволяющие, получать защитные покрытия с высокими показателями физико-механических свойств. Наиболее распространенными на рынке РФ материалами покрытий корпусов погружных электродвигателей являются монель, нанесенная на поверхность металла методом электродуговой металлизации, и аустенитные сплавы.

На основе проведенного анализа сформулирована цель работы, которая заключается в создании комплексной методики оценки свойств защитных металлизационных покрытий и совершенствование данного способа защиты ПЭД на основе результатов определения причин разрушения и лабораторных исследований.

**Во второй главе** описаны объекты, оборудование и методы исследования. В качестве объектов исследования выбраны корпуса погружных электродвигателей с металлизационным покрытием и образцы в виде стальных пластин с покрытием, технология нанесения которого идентична технологии нанесения покрытия на изделие.

Описаны методики методы испытаний, позволяющие оценить комплекс физических, механических, физико-механических, трибологических и коррозионных свойств металлизационных покрытий. Эти методики взяты за основу для разработанной новой методики комплексной оценки свойств металлизационных покрытий.

**Третья глава** посвящена анализу статистических данных отбраковки установок электроцентробежных насосов (УЭЦН) на различных нефтяных месторождениях. Выявлено, что одной из самых распространенных причин отказа является коррозия корпусов погружных электродвигателей, которая протекает по механизму подпленочной коррозии, вызванная механическими повреждениями покрытия, которые появляются в ходе спуско-подъемных операций при контакте с обсадной колонной или при контакте с абразивными частицами.

На основании исследования микроструктуры исходных и поврежденных покрытий установлен механизм разрушения и показана очередность протекания коррозионных процессов, приводящих к разрушению оборудования. Результаты исследований, приведенные

в этой главе, послужили основой для разработанного альбома повреждений корпусов УЭЦН в промысловых условиях.

**В четвертой главе** приводятся результаты разработки методики комплекса лабораторных испытаний металлизационных покрытий, имитирующих воздействие различных эксплуатационных факторов.

Автор предлагает проводить три блока испытаний покрытия: контроль покрытий в исходном состоянии; контроль стойкости покрытия к внешним воздействиям; ускоренные испытания в модельных средах различной агрессивности.

В каждом блоке проводится контроль физико-механических свойств и структурного состояния покрытий различными методами. Определяются шероховатость, толщина покрытия, пористость, сплошность, качество сцепления с металлом подложки, адгезионная прочность, микротвердость, абразивная стойкость, коррозионная стойкость и др.

В основу предложенной методики коррозионных испытаний была положена методика испытаний регламентированная ГОСТ 58346-2019 в которую автор внесла определенные изменения, заключающиеся в том, что были внесены некоторые изменения в испытательное оборудование и в режимы коррозионных испытаний.

По результатам проведенных исследований автор делает вывод, что неудовлетворительные результаты трибологических и коррозионных испытаний в первую очередь связаны с неблагоприятным структурным состоянием покрытия (оксиды, пористость и расслоение и высоким уровнем остаточных напряжений).

Метод ВСГПН нержавеющей покрытия, легированного Cr, Ni, Mo (РН-6, РН-7) позволяет получить более выгодное с точки зрения структурных особенностей покрытие.

Металлизационное покрытие на основе карбида вольфрама, нанесенное методом ВСГПН является лидером среди испытанных защитных металлизационных покрытий ввиду своего высокого уровня физико-механических и антикоррозионных свойств. Однако, ввиду своей высокой стоимости может оказаться не рентабельным

**В пятой главе** разработаны технические требования к газотермическим металлизационным покрытиям, состоящие из 11 разделов, которые содержат требования к свойствам металлизационных покрытий погружных электродвигателей, технологии их нанесения, контролю, приемке и поставке. В этих требованиях сформулированы требования к основным физическим, механическим, физико-механическим, трибологическим и коррозионным свойствам газотермических металлизационных покрытий, применяемых для защиты корпуса погружных электродвигателей и регламентированы параметры, моделирующие воздействие осложняющих факторов в процессе эксплуатации (стойкость к удару, прорезанию, износостойкость при воздействии абразивных частиц, воздействие агрессивных сред.

На основании проведенных исследований определено, что металлизационные покрытия, нанесенные методом ЭДМ, могут эксплуатироваться до температур 90 градусов, а покрытия, нанесенные методом ВСГПН – до 120 градусов.

Технические требования к газотермическим металлизационным покрытиям, применяемым для защиты корпусов погружных электродвигателей, были внедрены на предприятиях ООО «ТСК «Урал» г. Екатеринбург, ООО «ТСЗП» г. Москва, ООО «КОМТЭК» г. Екатеринбург.

**В шестой главе** на основе проведенных исследований предложен способ защиты наружной поверхности ПЭД, заключающийся в футеровке ПЭД нержавеющей сталью, и дополнительную металлизацию незащищенных поверхностей. Основываясь на результатах проведенных испытаний коррозионной стойкости различных сталей (AISI 316L, AISI 304, 20X13, 30XГСА, 30X3МФ, 35) для футеровки выбрана сталь AISI 316L – аналог Российской стали 03X17H14M3. Сделан вывод, что применение стали AISI 316L позволяет снизить скорость коррозии более чем на порядок, что обеспечивает антикоррозионную защиту на всем жизненном цикле изделия во всех возможных диапазонах изменения температур и парциальных давлений в процессе эксплуатации ПЭД.

#### **4 Оценка степени научной новизны результатов диссертации**

В диссертационной работе автором получены следующие новые научные результаты:

1. Установлено, что при эксплуатации погружных электродвигателей основное влияние на коррозионную стойкость оказывает не химический состав покрытия, а его структура и пористость.

2. Разработана методика ускоренных коррозионных испытаний металлизационных покрытий и показано, что результаты испытаний по этой методике коррелируют с наблюдаемыми разрушениями, полученными при эксплуатации погружных электродвигателей.

3. Разработан комбинированный способ защиты корпуса ПЭД, заключающийся в том, что футеровке сталью AISI 316L и металлизации подвергаются не только наружная поверхность корпуса ПЭД, но и внутренняя, а также сварные швы. На данный способ получен патент на изобретение № 2734201

4. Установлено, что эпоксидная пропитка значительно повышает коррозионную стойкость металлизационных покрытий, нанесенных методом ЭДМ

#### **5. Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов, рекомендаций, заключений и выводов**

Обоснованность и достоверность научных положений и выводов, сформулированных в диссертационной работе, обеспечены корректной постановкой задач, применением аттестованных методик исследований и проведением экспериментов на современном оборудовании, значительным количеством лабораторных экспериментальных данных, их сопоставлением с результатами других авторов, и практическим применением на промышленных предприятиях.

#### **6. Соответствие работы требованиям, предъявляемым к диссертациям и паспорту специальности**

Диссертация соискателя характеризуется внутренним единством и направленностью, подчинена общей цели, объединена научной идеей. Полученные результаты соответствуют научным положениям диссертации. Положения и результаты диссертации обладают научной новизной и практической значимостью. Все результаты, полученные в диссертации, относятся к области ранее нерешенных вопросов в исследовании проблемы создания научно обоснованной комплексной методики оценки свойств защитных металлизационных покрытий и совершенствование защиты погружных электродвигателей в нефтяных скважинах.

Публикации имеют высокий уровень и полностью отражают основное содержание диссертации.

Диссертация соответствует паспорту специальности: - 05.16.09 Материаловедение (Машиностроение), пункты 3, 5, 6, 9, 10.

### **7. Практическая значимость и использование результатов**

В результате выполнения диссертационных исследований разработана и внедрена в производство методика ускоренных лабораторных коррозионных испытаний металлизационных покрытий погружных электродвигателей.

Разработаны технические требования к качеству металлизационных покрытий, используемых для защиты погружных электродвигателей.

Результаты работы внедрены на предприятиях ООО «ТСК «Урал» г. Екатеринбург, ООО «ТСЗП» г. Москва, ООО «КОМТЭК» г. Екатеринбург.

### **8. Замечания по диссертационной работе**

1 Методики некоторых испытаний приведены подробно и даже излишне, а для некоторых. – указан только ГОСТ.

2 В третьей главе утверждается, что «одной из самых распространенных причин отказа является коррозия корпусов погружных электродвигателей, которая протекает по механизму подпленочной коррозии, вызванная повреждениями покрытия абразивными частицами». На износостойкость влияет множество факторов, но в работе приведено только влияние твердости поверхности на износостойкость.

3 Рекомендацию по проведению испытаний на абразивную износостойкость покрытий по ГОСТ 23.208-79 считаю не правильной, поскольку для тонких покрытий этот метод не применим.

4 При описании микроструктуры (рис. 4.5 и др.) использованы термины «оксиды», «дефекты подготовки поверхности», «расплавленные частицы», «полурасплавленные частицы» но уточнения или доказательства этим утверждениям не приведено. Если это оксиды, то какие. В чем заключаются «дефекты подготовки поверхности» и как от них можно избавиться? Что такое «полурасплавленные частицы»?

5 Расслаивание покрытия ВСГПН (РН-6, РН-7, РН-13) на стр. 91 объясняется наличием высоких уровнем остаточных напряжений, но результаты измерений остаточных напряжений в покрытиях не приводятся.

6 Классификацию причин разрушения покрытий, приведенную на рис. 4.1, нельзя считать бесспорной. Так, например, механические причины повреждения относятся к эксплуатационным.

7 Результаты исследования по определению стойкости различных покрытий к изгибу (глава 4) не являются необходимыми для данной работы.

8 В дополнение к разработанному новому способу комбинированной защиты корпусов погружных электродвигателей автору необходимо было обратить внимание на совершенствование технологических режимов нанесения покрытий.

### **Заключение**

Отмеченные отдельные замечания не изменяют общей положительной оценки диссертационной работы и не снижают ее научной и практической ценности, а лишь подчеркивают сложность решаемых в работе задач.

Диссертационная работа Ж.В. Князевой является законченной научно-квалификационной работой, содержащей решение важной научной задачи – созданию

комплексной методики оценки свойств защитных металлизационных покрытий и совершенствование данного способа защиты погружных электродвигателей.

Полученные результаты позволили Князевой Ж.В. разработать технические требования к качеству металлизационных покрытий, позволяющие оценить применимость металлизационного покрытия для определенных условий эксплуатации погружных электродвигателей и предложить методику ускоренных лабораторных коррозионных испытаний металлизационных покрытий.

Результаты работы были внедрены на предприятиях ООО «ТСК «Урал» г. Екатеринбург, ООО «ТСЗП» г. Москва, ООО «КОМТЭК» г. Екатеринбург.

Автореферат достаточно полно отражает содержание диссертационной работы. Диссертационная работа Ж.В. Князевой представляет собой законченную научно-квалифицированную работу, полностью соответствующую требованиям пункта 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 года (в редакции от 01.10.2018 года), а ее автор, Князева Жанна Валерьевна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17. – Материаловедение.

Согласен на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку.

Официальный оппонент,  
доктор технических наук, профессор,  
профессор кафедры «Литейных процессов  
и материаловедения»  
ФГБОУ ВО «Магнитогорский  
государственный технический  
университет им. Г.И. Носова»  
30.08.2021г.

Емелюшин Алексей Николаевич.

Специальность, по которой защищена диссертация: 05.16.01 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Адрес почтовый и электронный: 455000, г. Магнитогорск, Челябинской обл., пр. Ленина, 38.

[emelushin@magtu.ru](mailto:emelushin@magtu.ru)

