

ПОДБОР ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНОВЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АНТИКОРРОЗИОННОГО ПОКРЫТИЯ ДЛЯ ЗАЩИТЫ НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ

Бондарь Михаил Алексеевич

Аспирант,
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
Уфа, Россия
E-mail: mikhailbondar7@gmail.com

Латыпов Олег Ренатович

Доктор технических наук, профессор,
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
Уфа, Россия
E-mail: o.r.latypov@mail.ru

Предмет исследования: интеллектуальное покрытие для защиты нефтеперерабатывающего оборудования от коррозии, его защитные и эксплуатационные свойства.

Цель исследования: разработка состава интеллектуального покрытия для защиты нефтеперерабатывающего оборудования от коррозии, изучение его основных эксплуатационных характеристик, проверка защитных свойств в агрессивных средах.

Методы и объекты исследования: образцы, изготовленные из стали 09Г2С, применяемой для изготовления технологического оборудования нефтеперерабатывающих и нефтехимических заводов, покрытые различными защитными композициями для определения основных характеристик состава интеллектуального покрытия. Для изучения эксплуатационных свойств разработана методика с применением магнитных мешалок, имитирующих многократное взаимодействие коррозионной среды с образцами.

Основные результаты исследования: согласно результатам климатических испытаний и химической стойкости покрытий в коррозионной среде, установлен наиболее эффективный состав основы интеллектуального покрытия, обладающий лучшими защитными характеристиками, и определены его необходимые адгезионные свойства.

Ключевые слова: коррозия, защитные покрытия, адгезия, нефтеперерабатывающий завод, оборудование нефтепереработки, состав защитного покрытия.

SELECTION OF TECHNOLOGICAL BASIS FOR INTELLIGENT ANTI-CORROSION COATING FOR PROTECTION OF OIL REFINING EQUIPMENT

Mikhail A. Bondar

Postgraduate student,
Ufa State Petroleum Technological University
Ufa, Russia
E-mail: mikhailbondar7@gmail.com

Oleg R. Latypov

Doctor of Technical Sciences, Professor,
Ufa State Petroleum Technical University
Ufa, Russia
E-mail: o.r.latypov@mail.ru

Subject of research: intelligent coating to protect oil refining equipment from corrosion, its protective and operational properties.

Purpose of research: to develop the composition of an intelligent coating to protect oil refining equipment from corrosion, to study its basic operational characteristics, to test protective properties in aggressive environments.

Methods and objects of research: samples made of 09G2C steel used for the manufacture of technological equipment of oil refineries and petrochemical plants, coated with various protective compositions to determine the main characteristics of the composition of the intelligent coating. To study the operational properties, a technique has been developed using magnetic stirrers that simulate the repeated interaction of a corrosive medium with samples.

Main results of research: according to the results of climatic tests and chemical resistance of coatings in a corrosive environment, the most effective composition of the base of an intelligent coating with the best protective characteristics has been established and its necessary adhesive properties have been determined.

Keywords: corrosion, protective coatings, adhesion, oil refinery, refinery equipment, coating composition.

ВВЕДЕНИЕ

В современной нефтегазовой отрасли Российской Федерации отказ технологического оборудования является одной из наиболее актуальных, требующих детального рассмотрения проблемой. На предприятиях нефтепереработки и нефтехимии значительная часть оборудования работает в условиях воздействия коррозионно-активных сред, в которых присутствует большое количество щелочных соединений, солей, а также паров и газоконденсата, содержащего кислоты [1–3]. Результатом взаимодействия металлической поверхности с этими соединениями является

отказ технологического оборудования, который оказывает отрицательное влияние не только на производственные процессы и экономические показатели предприятия, но и непосредственно влияет на безопасность человека [4, 5]. Следует отметить, что в большинстве случаев на нефтеперерабатывающих заводах (НПЗ) используется оборудование, изготавливаемое из углеродистых и низколегированных сталей (например, СтЗпс, 09Г2С, 16Г2АФ, 12ХГ2СМФ), которое не обладает достаточной коррозионной стойкостью по отношению к эксплуатируемым в нефтепереработке средам [6–8].

Таблица 1. Анализ исследуемых защитных покрытий на первом этапе.

Тип покрытия	Температуры		Время высыхания и полимеризации	Срок эксплуатации
	Постоянная	Пиковая		
Покрытие на эпоксидной основе 1	600	650	30 минут (t=20°C)	До 15 лет
Покрытие на кремнийорганической основе 1	800	1200	30 минут	До 15 лет
Покрытие на кремнийорганической основе 2	650	720	120 минут	До 15 лет
Покрытие на эпоксидной основе 2	600	650	120 минут	До 15 лет
Покрытие на кремнийорганической основе 3	650	700	120 минут	До 15 лет
Покрытие на эпоксидной основе 3	350	400	150 минут	До 15 лет

Процессы первичной переработки нефти являются основными на нефтеперерабатывающих заводах, на которые приходится основная доля капитальных и эксплуатационных затрат, в том числе связанных с коррозией технологического оборудования и трубопроводов. Коррозия аппаратуры атмосферных трубчатых и атмосферно-вакуумных трубчатых (АТ и АВТ) установок обусловлена в основном присутствием в перерабатываемой нефти небольшого количества солей, неорганических кислот, сернистых и хлорсодержащих органических соединений [8–12]. Применяемые противокоррозионные мероприятия часто не обладают достаточной эффективностью и, к тому же, могут отрицательно влиять на эффективность технологических процессов и качество получаемых продуктов нефтепереработки и нефтехимии [13]. В настоящее время для предприятий нефтепереработки и нефтехимии предоставляется огромное количество видов защитных покрытий [14, 15]. Так, перспективным направлением является применение металлизированных лакокрасочных покрытий, например, цинконаполненных грунтовок и эмалей, или композиций, содержащих алюминиевую пудру, а также использование материалов, содержащих специальные добавки, которые придают покрытиям специальные ингибирующие (например, в покрытие вводится пигмент фосфат цинка, являющийся ингибитором коррозии) и барьерные свойства. Стоит учесть, что

большое количество современных композиций лакокрасочных материалов позволяет производить технологические работы при отрицательных температурах, что существенно увеличивает зону эксплуатации данного вида коррозионной защиты и является положительным моментом для климатических условий Крайнего Севера.

Основной задачей данной работы является подбор основы интеллектуального покрытия на базе известных составов на рынке Российской Федерации, сравнение химической стойкости полученных составов защитных покрытий в средах высокой агрессивности, например, 3 %-ном растворе NaCl, имитирующем морскую воду, обладающую наибольшей коррозионной агрессивностью, определение адгезии лакокрасочного покрытия (далее – ЛКП) после выдержки в течение 7-ми календарных дней при статичном воздействии жидкости (1 этап) и при динамическом воздействии (перемешивание среды, 2 этап), оценкой и прогнозированием наилучшей основы для разработки нового состава с заданными свойствами.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На первом этапе при выполнении данной работы были поставлены следующие задачи: определение химической стойкости двух типов покрытий – эпоксидного и кремнийорганического составов, адгезии, а также



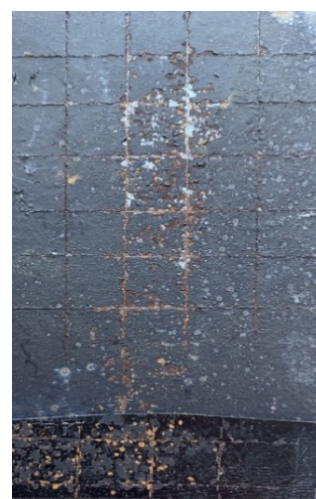
Рисунок 1. Исходный вид полученных образцов.



а)



б)



в)

Рисунок 2. Образцы покрытия №1 после выдержки в агрессивной среде: а, б – изменение цвета покрытия и образование продуктов коррозии, в – меление покрытия при определении адгезии методом решетчатых надрезов.

выдержки при отрицательных температурах (до -50°C) в криостате LOIP FT-311-80. Данные типы защитных покрытий были установлены основными после изучения технологических регламентов и приложений к ним из комплекса уфимских нефтеперерабатывающих заводов.

Для определения наиболее эффективного типа защитного покрытия, исходя из условий эксплуатации нефтеперерабатывающего оборудования, были проведены сравнения известных марок покрытий (всего 6 марок). Производилась оценка свойств эпоксидных и кремнийорганических покрытий. Сравнение технологических свойств покрытий

проводилось по трем основным критериям: 1) температура: постоянная, пиковая; 2) время высыхания и полимеризации; 3) срок эксплуатации. В таблице 1 приведены результаты анализа свойств исследуемых защитных покрытий. Стоит отметить, что часть покрытий на данном этапе – иностранного производства, чья итоговая стойкость ниже российских аналогов.

На основании данной таблицы, для проведения испытаний были отобраны образцы «Покрытие на кремнийорганической основе 1 – № 1» и «Покрытие на эпоксидной основе 1 – № 2». На основе этих составов подготовлены две группы образцов: светло-серые образцы

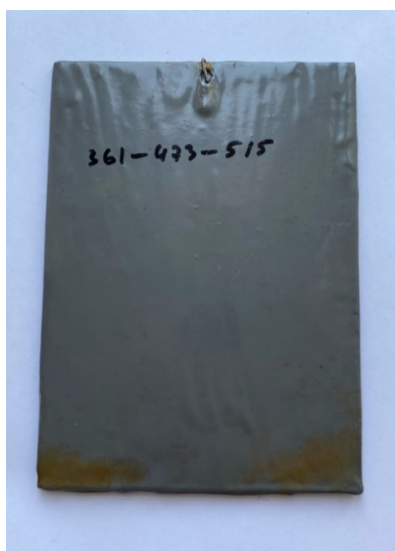


Рисунок 3. Образец эпоксидного покрытия после выдержки в агрессивной среде.

являются образцами с эпоксидным покрытием, черные – с кремнийорганическим покрытием (рисунок 1).

Далее, на основании ГОСТ 31149-2014, подготовлены образцы из стали 09Г2С, которая является одной из основных, применяемых на предприятиях нефтепереработки и нефтехимии Российской Федерации. Полученные образцы были исследованы:

- 1) в атмосферных условиях (при отрицательных температурах);
- 2) в агрессивной среде (3 %-ный раствор NaCl) в течение 7-ми дней.

При визуальном осмотре образца покрытия № 1 можно выявить декоративные и защитные дефекты покрытия (рисунок 2):

- 1) изменение цвета покрытия – изменение цветового оттенка хорошо заметно;
- 2) меление покрытия – частицы пигмента легко отделяются при касании;
- 3) покрытие вспучилось, местами образовались пузыри – происходит нарушение внешнего слоя покрытия;
- 4) поражение всей поверхности образца продуктами коррозии.

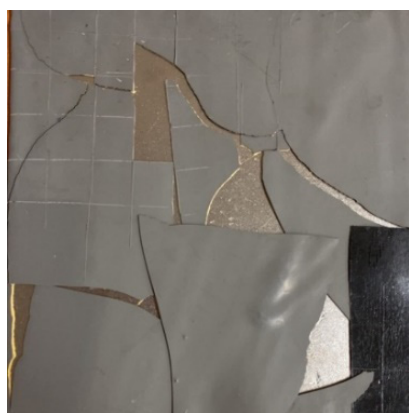
При исследовании адгезионных свойств методом решетчатого надреза по ГОСТ 31149-2014 можно сделать вывод о том, что наблюдается отслаивание покрытия вдоль краев разреза, площадь отслаивания составляет около 65 % сетки, балл – 4.

При исследовании адгезионных свойств методом решетчатого надреза по ГОСТ 31149-2014 можно сделать вывод о том, что края надрезов полностью гладкие и все квадраты решетки остались без изменений. Балл – 0 (рисунок 3).

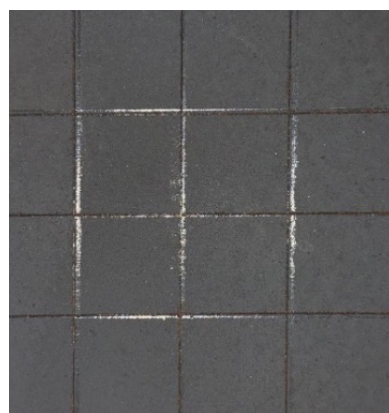
При определении адгезионных свойств покрытия № 1 методом решетчатых надрезов по ГОСТ 31149-2014 сделали вывод том, что наблюдается отслоение покрытия частично вдоль краев надрезов на различных частях квадратов. Площадь отслоения покрытия не превышает 35 % от всей площади решетки. Балл – 3 (рисунок 4). Полученные результаты по этапу 1 исследования показали, что покрытия на эпоксидной основе – более стойкие к химическому воздействию, но склонны к разрушению при отрицательных температурах. Обратный вывод – для покрытий на кремнийорганической основе.

Вторая часть исследований заключалась в большей выборке покрытий и испытаниях при перемешивании агрессивной среды (3 %-ный раствор NaCl), при отрицательных температурах и в условиях образования конденсата. Суть сводится к работе состава лакокрасочного материала, нанесенного на металл (в данном случае – сталь марки 09Г2С, являющаяся одним из основных конструктивных материалов в нефтепереработке и нефтехимии), в среде, которая находится в постоянном перемещении с целью получения или прогнозирования свойств готового покрытия к истиранию.

В качестве среды выбран модельный раствор (3 %-ный водный раствор NaCl), являющийся одной из агрессивных коррозионных сред. Среда подготавливается, заливается в специальные колбы, в которые параллельно установлены образцы с ЛКП. Далее колба закрывается и дополнительно плотно изолируется с целью избежать разбрызгивания среды. Установленная емкость помещается



а)



б)

Рисунок 4. Покрытие № 2 и покрытие № 1 после выдержки при отрицательных температурах:
а – разрушение эпоксидного покрытия при отрицательных температурах, б – определение адгезионных свойств покрытия № 1 при отрицательных температурах.



Рисунок 5. Подготовленная выборка образцов.

на магнитную мешалку, выбирается скорость работы мешалки. Время выдержки устанавливается 7 дней.

После чего образцы извлекаются, промываются, сушатся, и проводится изучение адгезии по известным методам надрезов в зависимости от толщины покрытия – до 250 мкм применяется метод решетчатых надрезов, более 250 мкм – метод Х-образного надреза. После чего по отслоению покрытия делается вывод о стойкости покрытия в данной среде, а также дальнейшие рекомендации по испытаниям и выбору основной композиции ЛКМ.

Второй вид испытаний проводился в климатической камере с целью определения работы ЛКМ и полученных ЛКП в условиях холодного климата, а также с учетом наличия конденсата на поверхности образцов до проведения испытаний. После чего образцы извлекаются, промываются, сушатся и проводится изучение адгезии по известным методам надрезов в зависимости от толщины покрытия – до 250 мкм применяется метод решетчатых надрезов, более 250 мкм – метод Х-образного надреза. После чего по отслоению покрытия делается вывод о стойкости покрытия в данной среде, а также дальнейшие рекомендации по испытаниям и выбору

основной композиции ЛКМ, исходя из второго метода проведения испытаний.

Выборка образцов (рисунок 5) лакокрасочных материалов следующая: эпоксидные композиции, кремнийорганические композиции, силиконоакриловое покрытие и композиция на основе полиуретанового лака. Отметим, что один из образцов получил своеобразный рисунок в процессе сушки покрытия, что является технологической особенностью для кремнийорганического покрытия с добавлением цинка в его состав [16–17]. Более широкая выборка покрытий обусловлена тем, что были получены сведения с нефтеперерабатывающих комплексов города Уфы об опытных испытаниях силиконакриловых покрытий и составов на основе полиуретанового лака в качестве альтернативы кремнийорганическим покрытиям.

На рисунке 6 показаны образцы после испытания кремнийорганических и силиконакриловых покрытий в перемешивающейся среде. Результатом для этих образцов является низкий балл по определению адгезии методом решетчатых надрезов – балл 5, изменение цвета и полное отслаивание покрытий.

Лучшим результатом для данного комплекса испытаний является покрытие

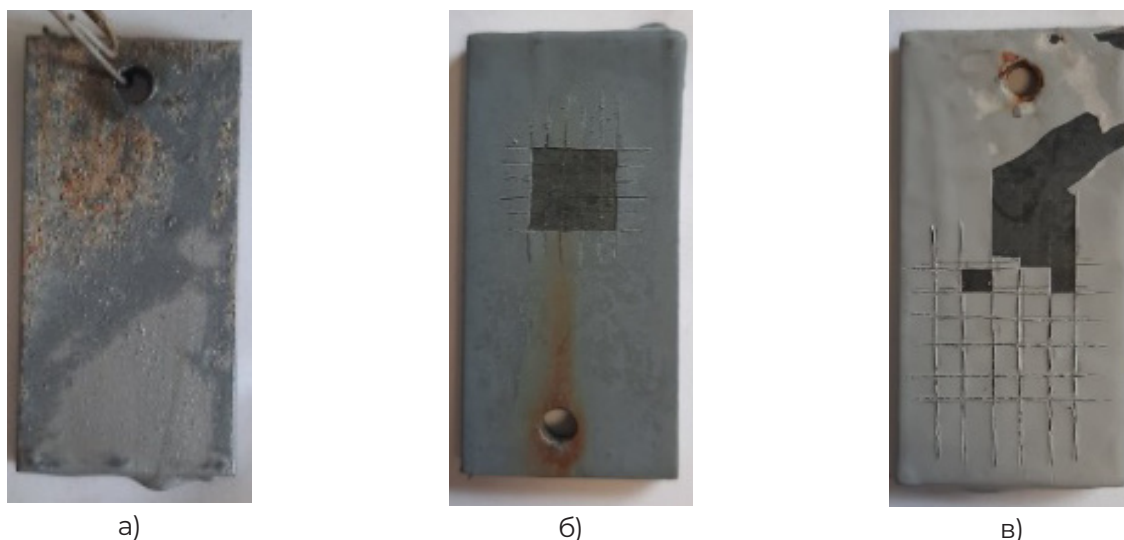


Рисунок 6. Образцы кремнийорганических и силиконакрилового покрытий в перемешивающейся среде после испытаний: а, б – кремнийорганические покрытия, в – силиконакриловое покрытие.

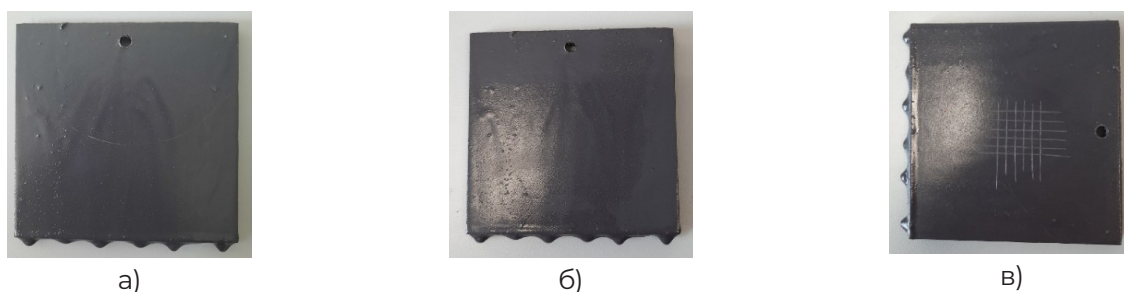


Рисунок 7. Образцы на основе полиуретанового лака после испытаний: а – в перемешивающейся среде, б – выдержка при отрицательных температурах, в – в условиях конденсата.

на основе полиуретанового лака (рисунок 7). Покрытие после испытаний не поменяло цвет, не обнаружено продуктов коррозии, балл адгезии – 0. Подобные результаты для данного состава наблюдаются и при комплексе климатических испытаний. Также на основании документации уфимских нефтеперерабатывающих заводов с указанием свойств и стоимости составов было установлено, что, помимо высоких показателей по химической стойкости, данный тип покрытия обладает более низкой стоимостью по сравнению с кремнийорганическими составами.

При оценке двух проведенных этапов испытаний отмечено, что наилучшим покрытием является композиция на основе полиуретанового лака, которая станет базой для требуемого интеллектуального покрытия. Основным технологическим свойством данного состава будет являться наличие в нем специального пигмента, улучшающего эксплуатационные характеристики состава. Однако во время проведения эксперимента на данной стадии была нарушена логистическая цепь

поставок, из-за чего основу покрытия на момент написания данной статьи подготовить невозможно. Поэтому проводится дополнительный комплекс испытаний для покрытий на кремнийорганической основе и введением в них специальных добавок.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОДЫ

При выполнении данной работы были получены следующие результаты:

На этапе 1 установлено, что эпоксидная основа покрытия обладает низкой стойкостью к низким температурам, о чем свидетельствуют малые показатели адгезии и разрушения покрытия в течение короткого времени. Покрытия на кремнийорганической основе, которые являются термостойкими, обладают низкой химической стойкостью – изменение внешнего вида покрытия, низкие показатели адгезии после выдержки в коррозионной среде.

На втором этапе работы установлено, что из более широкого комплекса испытаний и

при большей выборке типов покрытий наилучшими показателями по химической стойкости обладает покрытие на основе полиуретанового лака. Также данные типы составов обладают более низкой стоимостью по сравнению с термостойкими кремнийорганическими составами.

На основании указанных фактов, базой нового типа покрытия выбрана база на основе полиуретанового лака, которая в большинстве случаев является однокомпонентной, плюс возможна добавка специальных пигментов для придания специальных свойств покрытия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Латыпов, О. Р. Эксплуатация нефтегазового оборудования в агрессивных средах / О. Р. Латыпов. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2018. – 151 с. – Текст: непосредственный.
2. Латыпова, Д. Р. Защита от коррозии строительных конструкций на нефтегазовых предприятиях / Д. Р. Латыпова, О. Р. Латыпов. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2018. – 134 с. – Текст: непосредственный.
3. Кравцов, В. В. Коррозия и защита нефтезаводского и нефтехимического оборудования / В. В. Кравцов, О. Р. Латыпов, О. А. Макаренко, И. Г. Ибрагимов. – М.: Химия, 2010. – 344 с. – Текст: непосредственный.
4. Pechenkina M.Yu., Latypov O.R. and Bugai D.E. Increasing the Corrosion Resistance of the Material of Oil and Gas Equipment in Water-Salt Solutions by Changing the Electrochemical Parameters // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 720. Article No. 012142. DOI: 10.1088/1755-1315/720/1/012142.
5. Faritov A.T., Rozhdestvenskii Yu.G., Yamshchikova S.A., Minnikhanova E.R., Tyusenkov A.S. Improvement of the Linear Polarization Resistance Method for Testing Steel Corrosion Inhibitors // Russian Metallurgy (Metally). 2016. Vol. 2016, No. 11. P. 1035-1041. DOI: 10.1134/S0036029516110070.
6. Latypov O., Cherepashkin S., Latypova D. The Use of the Method of Controlling the Electrochemical Parameters of Aqueous Solutions to Combat Complications in the Operation of Oil Field Pipelines // E3S Web of Conferences. 2021. Vol. 225. Article No. 01008. DOI: 10.1051/e3sconf/202122501008.
7. Лаптев, А. Б. Ингибирующая способность консервационного состава на основе имидазолинов в кислых водных средах / А. Б. Лаптев, А. Е. Спивак, С. Е. Черепашкин, О. Ю. Цыпышев, Д. Е. Бугай, Р. Ж. Ахияров, В. Н. Рябухина. – Текст: непосредственный // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. – 2015. – Вып. 4 (102). – С. 139–150.
8. Latypov O.R., Tyusenkov A.S. Methodology for Studying the Corrosion of Material of Oil Pipelines Operating in Marshy Soil // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 962. Article No. 042026. DOI: 10.1088/1757-899x/962/4/042026
9. Latypova D., Latypov O. Method of Investigation of Local Corrosion Processes on Samples from Clad Steel // E3S Web of Conferences. 2021. Vol. 225. Article No. 01005. DOI: 10.1051/e3sconf/202122501005.
10. Латыпова, Д. Р. Исследование коррозии контактной пары сталей 09Г2С/12Х18Н10Т в технологических средах колонного оборудования / Д. Р. Латыпова, Д. Е. Бугай, О. Р. Латыпов, В. Н. Рябухина. – Текст: непосредственный // Нефтегазовое дело. – 2020. – Т. 18, № 6. – С. 122–129. – DOI: 10.17122/ngdelo-2020-6-122-129.
11. Скуридин, Н. Н. Формирование противокоррозионных пленок на металле нефтепромыслового оборудования методом поляризации технологических жидкостей / Н. Н. Скуридин, Д. Р. Латыпова, М. Ю. Печенкина, О. Р. Латыпов, Д. Е. Бугай, В. Н. Рябухина. – Текст: непосредственный // Нефтяное хозяйство. – 2018. – № 5. – С. 84–86. – DOI: 10.24887/0028-2448-2018-5-84-86.
12. Латыпова, Д. Р. Влияние температуры водно-солевого раствора на развитие питтинговой коррозии / Д. Р. Латыпова // Нефтегазовое дело. – 2019. – Т. 17, № 3. – С. 68–73. – DOI: 10.17122/ngdelo-2019-3-68-73.
13. Латыпова, Д. Р. Влияние электродного потенциала на глубину проникновения питтинговой коррозии в поверхностные структуры плакированной стали / Д. Р. Латыпова, О. Р. Латыпов, Д. Е. Бугай. – Текст: электронный // Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал. – 2018. – Т. 10, № 3. – С. 167–178. – URL: http://www.nanobuild.ru/en_EN/journal/Nanobuild-3-2018/167-178.pdf (дата обращения: 19.02.2022). DOI: 10.15828/2075-8545-2018-10-3-167-178.
14. Кравцов, В. В. Оценка остаточной защитной способности лакокрасочных покрытий на внутренней поверхности стальных резервуаров / В. В. Кравцов, Х. Р. Сырлыбаев, О. В. Шингаркина, Н. А. Алексеева. – Текст: непосредственный // Территория «Нефтегаз». – 2012. – № 3. – С. 36–39.
15. Макаренко, О. А. Определение защитных свойств лакокрасочного покрытия внутренней поверхности резервуаров / О. А. Макаренко, В. В. Кравцов. – Текст: непосредственный // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2010. – № 1 (79). – С. 112–115.
16. Бондарь, М. А. Разработка состава интеллектуального покрытия для защиты от коррозии оборудования нефтепереработки / М. А. Бондарь, Д. Е. Бугай, О. Р. Латыпов. – Текст: непосредственный // Инженерная физика. – 2023. – № 7. – С. 3–6. – DOI 10.25791/infizik.7.2023.1339.
17. Бондарь, М. А. Анализ компонентного состава лакокрасочного покрытия для защиты нефтеперерабатывающего оборудования от коррозии / М. А. Бондарь, Д. Е. Бугай, О. Р. Латыпов. – Текст: непосредственный // Современные проблемы университетской науки и образования: респ. конф., посвящается 60-летию СумГУ (17–18 ноября 2022 год). – Сумгаит, 2022. – № 8/1. – С. 101–104.