

УДК 669:620.19
DOI 10.48612/ntp/n7v6-nh17-kvf1

АДГЕЗИОННЫЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ЗАЩИТЫ РЕЗЕРВУАРОВ ОТ ОБРАЗОВАНИЯ ПИРОФОРНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

А. Ф. ЧУДАКОВА, С. А. СЫРБУ

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России
Российская Федерация, г. Иваново
E-mail: fedorovna-2021@list.ru, syrbue@yandex.ru

В работе рассматривается проблема обеспечения пожарной безопасности резервуаров для хранения нефти, связанная с образованием пирофорных отложений. Исследована роль адгезионных свойств композиционных покрытий на основе поликарбамидной матрицы и наполнителей, состоящих из адсорбента и окислителя. Использование метода отрыва позволило оценить прочность адгезионного соединения и сделать выводы о его качестве, надёжности и среднем сроке службы. Высокие значения силы адгезии указали на прочное и долговечное соединение.

После проведенных исследований выявлено, что адгезия композиционных материалов к поверхности стали незначительно уменьшается после 100 дней экспонирования образцов в лабораторной установке, имитирующей паровоздушное пространство резервуара с содержанием сероводорода 2 % об., что свидетельствует об увеличении срока службы покрытия и позволяет рекомендовать данные покрытия к применению на объектах нефтегазовой отрасли.

Ключевые слова: поликарбамид, сталь; защитные покрытия; коррозия; пирофорные отложения; адгезия; коррозионная стойкость.

ADHESIVE PROPERTIES OF COMPOSITE MATERIALS FOR PROTECTING RESERVOIRS FROM PYROPHORIC DEPOSITS

A. F. CHUDAKOVA, S. A. SYRBU

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Ivanovo
E-mail: fedorovna-2021@list.ru, syrbue@yandex.ru

The paper discusses the problem of ensuring fire safety of oil storage tanks associated with the formation of pyrophoric deposits. The role of the adhesive properties of composite coatings based on a polycarbamide matrix and fillers consisting of an adsorbent and an oxidizing agent has been investigated. The use of the detachment method allowed for the evaluation of the strength of the adhesive bond and the drawing of conclusions about its quality, reliability, and average service life. The high values of the adhesive force indicated a strong and durable bond.

After the conducted research, it was found that the adhesion of composite materials to the steel surface decreases slightly after 100 days of exposure of the samples in a laboratory setup that simulates the vapor-air space of a reservoir with a hydrogen sulfide content of 2 % vol., which indicates an increase in the coating's service life and allows these coatings to be recommended for use in the oil and gas industry.

Keywords: polycarbamide; steel; protective coatings; corrosion; pyrophoric deposits; adhesion; corrosion resistance.

Введение

Нефтегазовая отрасль является одной из ключевых и наиболее динамично развивающихся сфер мировой экономики. Эксплуатация резервуаров сопряжена с постоянным

воздействием агрессивных серосодержащих сред. Сероводород (H_2S) и другие сернистые соединения, содержащиеся в нефти и нефтепродуктах, реагируют со сталью, образуя на её поверхности пирофорные отложения,

преимущественно состоящие из сульфидов и полисульфидов железа (FeS , FeS_2 и др.). Этот процесс связан с сероводородной коррозией – одним из видов коррозионных разрушений в нефтегазовой отрасли. Процессы коррозии наблюдаются на всех этапах нефтегазового производства и наносят значительный ущерб. Это обуславливает актуальность исследований в данной области. Разнообразие механизмов коррозии значительно усложняет задачи по предотвращению или снижению частоты коррозионных повреждений [1, 2].

В настоящее время для защиты стального оборудования от образования пиррофорных отложений применяются различные методы, среди которых наиболее распространенным является использование антикоррозионных защитных покрытий, в том числе композиционных. Преимущество любого композиционного материала состоит в том, что ему возможно придать необходимые эксплуатационные свойства [3]. Правильный выбор материалов для каждого конкретного случая затруднен не только подбором наполнителей с необходимым комплексом свойств, но и их влиянием на полимерную матрицу. Развитие современной промышленности таких материалов предполагает разработку и внедрение новых конструкционных материалов, обладающих необходимым комплексом механических, физико-химических и технологических свойств в сочетании с невысокой стоимостью [4].

Однако, одним из ключевых условий эффективности использования любого защитного покрытия является его надежная адгезия – прочность сцепления с металлической подложкой [5]. Проблема обеспечения адгезии покрытий к металлическим поверхностям остается одной из главных задач в области защиты конструкционных материалов от коррозии, абразивного износа и агрессивных сред. Особую значимость этот вопрос приобретает при эксплуатации стального оборудования в нефтегазовой промышленности, где от качества покрытия зависят сроки службы конструкций и безопасность технологических процессов. Основным условием работоспособности композиции «металл – композиционный материал на полимерной основе» является сохранение сплошности покрытия. Появление любого сквозного дефекта в полимерном слое вызывает разрушение адгезионной связи и способствует развитию коррозии металлической основы [6].

Перспективным направлением в данной области является разработка полимерных композиционных покрытий на основе поликарбамида с функциональными наполнителями, важнейшей целью которых является повышение эффективности и снижение стоимости

защитных покрытий [7]. Необходимо отметить, что большое значение имеет также способность различных видов наполнителей придавать новые свойства композиционным полимерным материалам по сравнению с полимерами.

Адгезия полимочевины к металлу – это ключевой фактор, который определяет долговечность и качество защитного покрытия. Поликарбамид, благодаря своим уникальным свойствам, широко применяется для защиты металлических конструкций от коррозии, механических повреждений и химического воздействия. Однако для того, чтобы покрытие надежно выполняло свои функции, необходимо обеспечить качественное сцепление материала с металлической поверхностью. Физические и адгезионные свойства поликарбамида находятся в прямой зависимости от химического состава полимерной композиции. Экспериментальные исследования показывают, что незначительные изменения в типе и соотношении исходных компонентов приводят к заметным изменениям механических и адгезионных характеристик покрытия.

Введение в полимерную матрицу неорганических частиц (например, диоксида титана) часто повышает адгезию. Наполнители могут улучшать смачиваемость поверхности, создавать дополнительные точки механической адгезии (проникновения покрытия в микронеровности стали за счёт микрорельефа ее частиц) или вступать в химическое взаимодействие с металлом (химическая адгезия). Наполнители также широко используются для изменения механических, структурных, химических и других свойств композиционных материалов, в том числе прочности адгезионных соединений композит–металл.

Однако анализ литературы, посвященной разработке защитных покрытий для внутренней поверхности резервуара [8-10], показывает отсутствие интереса авторов к адгезионным свойствам разрабатываемых покрытий.

Исходя из вышесказанного, целью работы явилась сравнительная оценка адгезионной способности композиционных материалов на основе поликарбамида с различными наполнителями к поверхности углеродистой конструкционной стали марки «СтЗсп», из которой изготавливают большую часть резервуаров для хранения нефти.

Материалы и методы исследования

Для имитации коррозионных процессов стенки стального резервуара послужили образцы конструкционной стали марки «СтЗсп». Благодаря однородному составу, сталь

характеризуется сниженной хрупкостью и повышенной устойчивостью к агрессивному воздействию окружающей среды. Сталь имеет хорошую пластичность и легко подвергается механической обработке.

Подготовка образцов включала в себя ручную чистку с использованием абразивной шкурки, а также последовательное применение наждачной бумаги различной зернистости (P60, P100, R120) для очистки поверхности от жира путем обработки поверхностей растворителем марки «Растворитель универсальный № 1». Испытаниям подвергались композиции, где в качестве матрицы использовался поликарбамид марки «Maxi Gum», а в качестве наполнителя не только диоксид титана, как активный окислитель, но и его смесь с такими адсорбентами как активированный уголь марки «БАУ-А», шунгит, галлузит как отдельно, так и в различных комбинациях. Характеристики наполнителей приведены в табл. 1. Данные добавки вводились в различных количествах в полимерную матрицу. Рецептуры составов разработанных композиционных материалов приведены в табл. 2. Для наилучшего эффекта (максимального заполнения пор окислителем) использовалась ультразвуковая обработка. На 3 массовые доли адсорбента брали 1 массовую долю диоксида титана. Синтез наполнителей проводили в круглодонной колбе с обратным холодильником. Процесс протекал в течение 60 мин при температуре кипения этилового спирта. Рабочая частота ультразвуковой ванны составляла 35 кГц. По истечению 60 мин обработанную ультразвуком смесь адсорбента и диоксида титана отделяли от спирта с помощью центрифугирования.

Процесс проводили при частоте вращения центрифуги 6000 оборотов в мин в течение 10 мин. После чего смесь высушивали в сушильном шкафу 8 ч при температуре 60 °С.

Нанесение защитной композиции на образец производили методом окунания. Покрытие наносилось в два слоя. Первым слоем выступал поликарбамид, который выполнял функцию адгезива, обеспечивая прочное сцепление покрытия с металлической основой. В качестве второго слоя использовался композиционный материал. Защитная композиция подвергалась сушке после нанесения каждого слоя в естественных условиях на протяжении суток (средняя температура составила 20 °С) при относительной влажности воздуха 55–60 %.

Образцы размещались внутри лабораторной установки, где были симитированы условия паровоздушного пространства резервуара для хранения нефти (рис. 1). Корпус установки и соединительные трубки выполнены из инертного по отношению к сероводороду и нефти материала. Внутри установки размещена дополнительная ёмкость, в которую перед проведением испытаний наливали нефть для создания условий, имитирующих паровоздушное пространство. Концентрация сероводорода в свободном объеме установки доводилась до 2 % об. путём наполнения газом из внешнего источника. Сероводород получали и подавали в установку по химической реакции сульфида натрия и соляной кислоты в аппарате Киппа. Время экспонирования образцов стали в лабораторной установке, имитирующей паровоздушное пространство резервуара, составляло 100 суток.

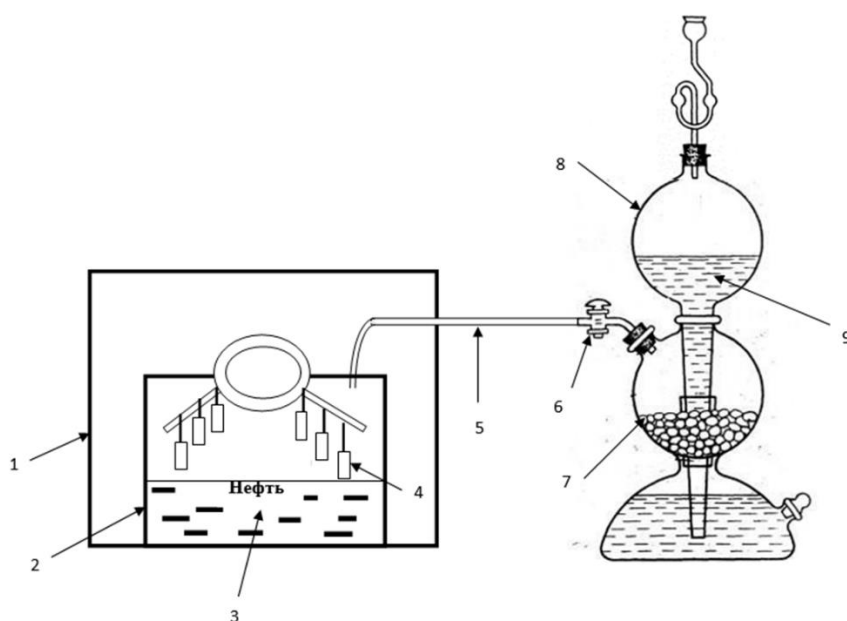


Рис. 1. Схема лабораторной установки, имитирующей паровоздушное пространство РВС:

- 1 – корпус;
- 2 – ёмкость для нефти;
- 3 – нефть (нефтепродукт);
- 4 – образец;
- 5 – соединительная трубка;
- 6 – кран; 7 – сульфид натрия;
- 8 – аппарат Киппа;
- 9 – соляная кислота

Таблица 1. Характеристики наполнителей композиционных материалов на основе поликарбамида

Наполнители полимерных композиционных материалов		
Название	Агрегатное состояние	Область применения
Диоксид титана (анатаз: рутил=5:1 200 Нм)	белый порошок $t_{пл} = 1850-1870\text{ }^{\circ}\text{C}$	лакокрасочная продукция, пластмассы
Уголь активированный марки «БАУ-А»	зерна черного цвета $t_{пл} > 1000\text{ }^{\circ}\text{C}$	сорбирующий материал
Шунгитовый порошок (20 мкм)	черный порошок $t_{пл} \sim 3527\text{ }^{\circ}\text{C}$	лакокрасочные материалы и покрытия, полимерные композиты
Галлуазит (0,5–1,0 мкм)	белый порошок $t_{пл} = 1780-1790\text{ }^{\circ}\text{C}$	лакокрасочное производство, полимерные композиты, адсорбент

Таблица 2. Рецептуры составов композиционных материалов

Наименование компонента	Содержание компонента в составе, мас. ч.										
	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10	K11
Поликарбамид марки «Maxi Gum»	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Диоксид титана (200 Нм)	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Активированный уголь	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-
Смесь 3 мас. ч. активированного угля и 1 мас. ч. диоксида титана	-	-	-	1	1*	-	-	-	-	-	-
Шунгит	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-
Смесь 3 мас. ч. шунгита и 1 мас. ч. диоксида титана	-	-	-	-	-	-	1	1*	-	-	-
Галлуазит	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-
Смесь 3 мас. ч. галлуазита и 1 мас. ч. диоксида титана	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1*
Растворитель Р-4	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70

*Наполнители подвергались ультразвуковой обработке

Для определения адгезионных характеристик разработанных покрытий использовался измеритель адгезии ПСО-МГ4С. Прибор предназначен для измерения адгезии (прочности сцепления) композиционного состава со стальной пластиной. ПСО-МГ4С позволяет объективно оценить, насколько прочно композиционное покрытие держится на стальной основе, что критически важно для обеспечения качества и долговечности конструкций.

Измерения адгезионной прочности образцов проводили с использованием специально разработанного вспомогательного удерживающего устройства, позволяющего значительно сократить время испытаний по сравнению со стандартными методами. Пределы допускаемой основной относительной погрешности измерений адгезии составляли $\pm 2\%$ (с доверительной вероятностью 0,95).

Результаты исследования и их обсуждение

Адгезия композиционного материала к изолируемой поверхности металла является одним из свойств покрытия, которое заключается в его способности образовывать связи с этой поверхностью. Природа, а, следовательно, энергия этих связей может быть различна.

От прочности и стабильности адгезионных связей существенно зависит противокоррозионное действие и срок службы покрытия. Устойчивые антикоррозионные связи покрытия с защищаемой поверхностью металла в коррозионно-активной среде обеспечивают не только удержание покрытия на этой поверхности, но и пассивацию поверхности металла, а, следовательно, повышение ее коррозионной стойкости.

Таким образом, прочность сцепления покрытия с подложкой является важной характеристикой, от которой зависит защитная способность материала [11]. Поэтому основная задача, решаемая в рамках проведенного исследования, заключалась в определении усилия отрыва разработанных композиционных материалов от стальной пластины.

На рис. 2 представлена гистограмма результатов измерения адгезионной прочности для 11 образцов стали, покрытых разработанными композиционными материалами, до и после экспонирования в среде, имитирующей условия паровоздушного пространства резервуара с содержанием 2 % об. сероводорода, в течение 100 суток. В паспорте поликарбамида

марки «Maxi Gum», который использовался в качестве матрицы разработанных композиционных материалов, было указано, что адгезия материала к поверхности металла должна составлять не менее 5 МПа. В результате проведенных экспериментов было получено значение 6,23 МПа, что превышает значения, заявленные производителем.

Интересно отметить, что добавление в полимерную матрицу механической смеси шунгита и диоксида титана в качестве наполнителя приводит к увеличению адгезии композиционного материала к поверхности стали на 1,13 МПа, тогда как добавление той же смеси после механохимической активации (обработки ультразвуком) уменьшает адгезию на 0,78 МПа.

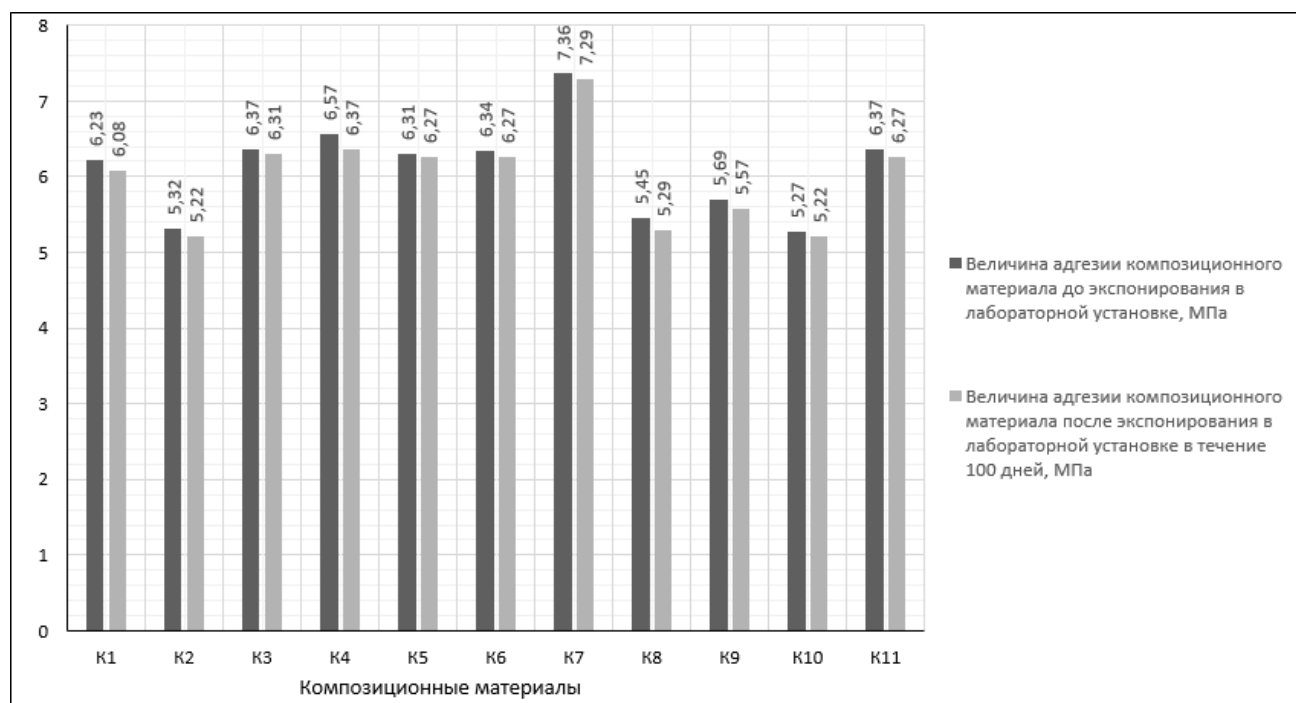


Рис. 2. Адгезионная прочность разработанных композиционных материалов до и после воздействия H_2S в течение 100 суток экспонирования образцов в лабораторной установке

Максимальное уменьшение адгезии композиционного материала к металлической подложке, составляющее 0,96 МПа, наблюдается для композита, имеющего в качестве наполнителя механическую смесь галлуазита и диоксида титана.

Увеличение адгезии композиционного материала к металлической подложке на 0,34–0,08 МПа по сравнению с полимерной матрицей было зафиксировано в случае использования в качестве наполнителей активированного угля; его механической и механохимически активированной смесей с диоксидом титана и механохимически активированной смеси галлуазита с

диоксидом титана. Уменьшение адгезии разработанного композиционного материала к поверхности стали на 0,54–0,96 МПа по сравнению с полимерной матрицей наблюдается в случае использования в качестве наполнителей диоксида титана; его механохимически активированной смеси с шунгитом; галлуазита и его механической смеси с диоксидом титана.

В табл. 3 представлена гистограмма величин относительного понижения адгезии разработанных композиционных материалов к поверхности стали марки «СтЗсп» после экспонирования образцов в лабораторной установке в течение 100 суток.

Анализ табл. 3 показывает, что максимальное уменьшение адгезии композиционного материала к металлической поверхности после экспонирования образцов в лабораторной установке наблюдается при использовании в качестве наполнителей механической смеси активированного угля с диоксидом титана и механохимически активированной смеси шунгита с диоксидом титана. Значения указанных величин составляют 3,04 % и 2,94 % соответственно. Минимальное уменьшение адгезии композиционного материала к металлической поверхности после экспонирования образцов в лабораторной установке наблюдается при использовании

в качестве наполнителя механохимически активированной смеси активированного угля с диоксидом титана. Оно составляет 0,63 %.

Для поликарбамидной пленки без наполнителей уменьшение адгезии к поверхности стали после экспонирования образцов в лабораторной установке составляет 2,41 %. Как видно из рис. 1, у 8 композиционных материалов из 10 разработанных не наблюдалось ухудшения адгезионных свойств после экспонирования в течение 100 суток в лабораторной установке, имитирующей паровоздушное пространство резервуара с содержанием сероводорода 2 % об.

Таблица 3. Величины относительного изменения адгезии разработанных композиционных материалов к поверхности стали марки «СтЗсп» после экспонирования образцов в лабораторной установке в течение 100 суток

Композиционные материалы	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10	K11
Относительное изменение адгезии, %	2,41	1,88	0,94	3,04	0,63	1,10	0,95	2,94	2,11	0,95	1,57

Анализ данных табл. 3 показывает, что относительное изменение адгезии после экспонирования образцов в течение 100 суток превышает пределы допускаемой основной относительной погрешности измерений величины адгезии для образцов покрытых поликарбамидом (K1) и композиционными материалами, в которых в качестве наполнителей выступали механическая смесь активированного угля и диоксида титана (K4), механохимически активированная смесь шунгита с диоксидом титана (K8) и галлуазит (K9). Для остальных композиционных материалов изменение адгезии после экспонирования в лабораторной установке в течение 100 суток находятся в пределах погрешности измерений, указанной производителем для прибора.

Резюмируя результаты проведенного анализа, можно сделать следующие выводы:

1. Разработанные композиционные материалы имеют высокую адгезию к поверхности стали марки «СтЗсп», значения которой находятся в пределах 7,36–5,27 МПа.
2. Относительное понижение адгезии после 100 суток экспонирования образцов стали, покрытых разработанными композиционными материалами, в лабораторной установке,

имитирующей паровоздушное пространство резервуара, содержащее 2 % об. сероводорода, не превышает 3 %. Это свидетельствует о высокой устойчивости композиционных покрытий к длительному воздействию сероводорода.

3. Практически не изменяющиеся в агрессивной среде адгезионные свойства покрытий способствуют сохранению целостности барьерного слоя и предотвращению глубинной коррозии.

4. Показано, что все введенные наполнители не ухудшают, а напротив, способствуют сохранению адгезионных свойств полимерной матрицы в условиях сероводородной агрессии. Это подтверждает эффективность разработанных композиционных материалов для защиты поверхности стали от образования пиррофорных отложений: покрытие сохраняет прочное сцепление с подложкой, исключая образование сульфидов железа в зоне контакта.

5. Полученные данные обосновывают возможность применения разработанных композиционных материалов для надёжной защиты паровоздушного пространства резервуаров от образования пиррофорных отложений в условиях их длительной эксплуатации.

Список литературы

1. Анализ влияния композиционного покрытия стали к сопротивлению коррозии методом металлографии / А. Ф. Чудакова, С. А. Сырбу, А. С. Митрофанов [и др.] // Современные проблемы гражданской защиты. 2024. № 4 (53). С. 70–78.
2. Влияние лазерной и струйно-абразивной модификации стальной поверхности на адгезионную прочность эпоксидных защитных покрытий / Н. И. Щегольков, Л. Ю. Комарова, А. И. Цыбин [и др.] // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2025. Т. 87, № 2 (104). С. 190–197.
3. Кудрявцев П. Г. Прогнозирование прочности адгезионных соединений в дисперсных системах // Научный сборник «InterConf». 2021. № 46. С. 353–395.
4. Кочуров Д. В. Высокопрочные полимерные композиционные материалы // Международный студенческий научный вестник. 2018. № 5. 167 с.
5. Тополянский П. А. Ермаков С. А., Тополянский А. П. Адгезионные характеристики тонкопленочного покрытия, осаждаемого при финишном плазменном упрочнении // Воронежский научно-технический Вестник. 2021. Т. 3, № 3 (37). С. 11–27.
6. Вариков Г. А., Дрозд К. М., Жорник В. И. Влияние режимов нанесения модифицированных полимерных покрытий на их адгезионную прочность // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В. Промышленность. Прикладные науки. 2018. № 11. С. 83–87.
7. Пивоваров В. Ю., Исламова А. В. Влияние покрытия из полимочевины на физико-механические свойства стали и бетона // Электронный научный журнал Нефтегазовое дело. 2018. № 3. С. 29–42.
8. Методические основы антикоррозионной защиты емкостного оборудования с применением лакокрасочных покрытий / Г. Л. Агафонова, Р. И. Валиахметов, А. В. Кожаева [и др.] // Экспозиция Нефть Газ. 2024. № 8 (109). С. 129–133.
9. Состав и основные свойства твердой фазы отложений на внутренней поверхности резервуаров с сернистой нефтью / И. И. Реформатская, С. Н. Ланин, И. Р. Бегишев [и др.] // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. 2025. № 1. С. 23–31.
10. Галлямова Л. Л., Самсонова В. А. Разработка и применение защитных покрытий для предотвращения образования пирофорных отложений в резервуарах нефтеперерабатывающих предприятий // Вестник науки. 2025. № 11 (92). С. 974–978.

11. Митрофанов А. С., Сырбу С. А., Азовцев А. Г. Влияние матрицы на адгезионные свойства композитных покрытий для защиты технологического оборудования для хранения нефти и нефтепродуктов от образования пирофорных отложений // Современные проблемы гражданской защиты. 2022. № 4 (45). С. 93–98.

References

1. Analiz vliyaniya kompozitsionnogo pokry`tiya stali k soprotivleniyu korrozii metodom metallografii [Analysis of the effect of the composite coating of steel on corrosion resistance by metallography] / A. F. Chudakova, S. A. Syrbu, A. S. Mitrofanov [et al.]. *Sovremennyye problemy` grazhdanskoj zashhity`*, 2024, vol. 4 (53), pp. 70–78.
2. Vliyanie lazernoj i strujno-abrazivnoj modifikacii stal'noj poverhnosti na adgezionnuyu prochnost' epoksidnyh zashchitnyh pokrytij [The effect of laser and abrasive jet modification of a steel surface on the adhesive strength of epoxy protective coatings] / N. I. Shchegolkov, L. Yu. Komarova, A. I. Tsybin [et al.]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernyh tekhnologij*, 2025, vol. 2 (104), pp. 190–197.
3. Kudryavtsev P. G. Prognozirovaniye prochnosti adgezionny`x soedinenij v dispersny`x sistemax [Predicting the strength of adhesive joints in dispersed systems]. *Nauchny`j sbornik «InterConf»*, 2021, vol. 46, pp. 353–395.
4. Kochurov D. V. Vy`sokoprochnyye polimernyye kompozitsionny`e materialy` [High-strength polymer composite materials]. *Mezhdunarodny`j studencheskij nauchny`j vestnik*, 2018, vol. 5, 167 p.
5. Topolyansky P. A., Ermakov S. A., Topolyansky A. P. Adgezionnyye harakteristiki tonkoplenochnogo pokrytiya, osazhdaemogo pri finishnom plazmennom uprochnenii [The adhesive characteristics of the thin-film coating deposited during finishing plasma hardening]. *Voronezhskij nauchno-tekhnicheskij Vestnik*, 2021, vol. 3 (37), pp. 11–27.
6. Varikov G. A., Drozd K. M., Zhornik V. I. Vliyanie rezhimov naneseniya modifitsirovanny`x polimerny`x pokry`tij na ix adgezionnuyu prochnost` [The effect of the modes of application of modified polymer coatings on their adhesive strength]. *Vestnik Poloczkogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya V. Promy`shlennost`. Prikladny`e nauki*, 2018, vol. 11, pp. 83–87.
7. Pivovarov V. Yu., Islamova A. V. Vliyanie pokry`tiya iz polimocheviny` na fiziko-mexanicheskie svoystva stali i betona [The effect of the polyurea coating on the physical and mechanical properties of steel and concrete]. *E`lektronny`j nauchny`j zhurnal Neftgazovoe delo*, 2018, vol. 3, pp. 29–42.

8. Metodicheskie osnovy antikorrozionnoj zashchity emkostnogo oborudovaniya s primeneniem lakokrasochnykh pokrytij [Methodological foundations of anti-corrosion protection of tank equipment using paint and varnish coatings] / G. L. Agafonova, R. I. Valiakhmetov, A. V. Kozhayaeva [et al.]. *Ekspozitsiya Neft' Gaz*, 2024, vol. 8 (109), pp. 129–133.

9. Sostav i osnovnye svoystva tverdoj fazy otlozhenij na vnutrennej poverhnosti rezervuarov s sernistoj neft'yu [The composition and main properties of the solid phase of deposits on the inner surface of tanks containing sour crude oil] / I. I. Reformatskaya, S. N. Lanin, I. R. Begishev [et al.]. *Pozhary i chrezvychajnye situacii: predotvrashchenie, likvidaciya*, 2025, vol. 1, pp. 23–31.

10. Gallyamova L. L., Samsonova V. A. Razrabotka i primeneniye zashchitnykh pokrytij dlya

predotvrashcheniya obrazovaniya pirofornykh otlozhenij v rezervuarah neftepererabatyvayushchih predpriyatij [The development and application of protective coatings to prevent the formation of pyrophoric deposits in tanks at oil refineries.]. *Vestnik nauki*, 2025, vol. 11 (92), pp. 974–978.

11. Mitrophanov A. S., Syrbu S. A., Azovtsev A. G. Vliyanie matricy na adgezionny'e svoystva kompozitny'x pokrytij dlya zashchity tekhnologicheskogo oborudovaniya dlya xraneniya nefti i nefteproduktov ot obrazovaniya piroforny'x otlozhenij [Influence of the matrix on the adhesive properties of composite coatings for protecting technological equipment for storing oil and petroleum products from pyrophoric deposits]. *Sovremennyye problemy grazhdanskoj zashchity*, 2022, vol. 4 (45), pp. 93–98.

Чудакова Анастасия Федоровна

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Российская Федерация, г. Иваново

адъюнкт адъюнктуры

E-mail: fedorovna-2021@list.ru

Chudakova Anastasia Fedorovna

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,

Russian Federation, Ivanovo

adjunct of post-graduate courses

E-mail: fedorovna-2021@list.ru

Сырбу Светлана Александровна

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Российская Федерация, г. Иваново

заведующий кафедрой естественнонаучных дисциплин

доктор химических наук, профессор

E-mail: syrbue@yandex.ru

Syrbu Svetlana Aleksandrovna

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,

Russian Federation, Ivanovo

Head of the Department of Natural Sciences

Doctor of chemical sciences, professor

E-mail: syrbue@yandex.ru