

ISSN 1561-8358 (Print)  
ISSN 2524-244X (Online)

**МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ, МЕТАЛЛУРГИЯ**  
**MATERIALS SCIENCES AND ENGINEERING, METALLURGY**

<https://doi.org/10.29235/1561-8358-2025-70-1-7-16>  
УДК 620.197.6



*Оригинальная статья*

**О. Р. Латыпов<sup>1\*</sup>, С. А. Ямщикова<sup>1</sup>, А. В. Антонов<sup>2</sup>, Р. Р. Даминев<sup>1</sup>, Д. Р. Латыпова<sup>1</sup>,  
И. С. Туркин<sup>2</sup>, Э. И. Исрафилов<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Федеральное государственное образовательное учреждение высшего образования  
«Уфимский государственный нефтяной технический университет»,  
ул. Космонавтов, 1, 450064, Уфа, Республика Башкортостан, Российская Федерация

<sup>2</sup>Общество с ограниченной ответственностью «УралЭнергоРесурс»,  
пр. Металлургов, 12, 455000, Магнитогорск, Челябинская область, Российская Федерация

**АНАЛИЗ ХИМИЧЕСКОЙ СТОЙКОСТИ ТЕРМОПЛАСТИЧНЫХ  
ПОЛИМЕРНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ПОЛИОЛЕФИНОВ  
В РАСТВОРАХ КИСЛОТ, СОЛЕЙ И ЩЕЛОЧЕЙ**

**Аннотация.** Разработан новый состав порошковой полимерной краски, обладающий высокой адгезией, химической стойкостью и достаточной механической прочностью. Исследования химической стойкости покрытий на основе порошковой полимерной краски проводили путем экспозиции образцов покрытия в растворах кислот, солей и щелочей с концентрациями 5, 10 и 15 %. Наблюдали изменения декоративных и защитных свойств термопластичного покрытия после экспозиции. Анализ поверхности покрытий показал, что исследуемые концентрации растворов солей, кислот и щелочей не оказывают существенного влияния на изменение декоративных и защитных свойств термопластичного покрытия. Особый интерес заключался в наблюдении коррозионного влияния среды в дефекте покрытия после выдержки образцов в растворах NaOH, NaCl и HCl с концентрацией 15 %. После экспозиции металлических образцов с дефектом термопластичного покрытия в растворе NaOH с концентрацией 15 % произошла пассивация металлической поверхности в дефекте, что видно по отсутствию продуктов коррозии после испытаний. В растворах 15 % NaCl и HCl визуально отмечено присутствие продуктов коррозии, при этом существенного отслоения покрытия в связи с нарушением адгезии не наблюдалось. Анализ изменения механических характеристик материала покрытия после его экспозиции в растворах кислот, солей и щелочей с концентрацией 10 % показал приемлемое снижение предела прочности: не более 10 % по сравнению с контрольными данными. Разработанное термопластичное покрытие рекомендуется к применению для нефтегазового оборудования в условиях воздействия коррозионных факторов.

**Ключевые слова:** порошковая полимерная краска, термопластичное покрытие, полиолефины, химическая стойкость, пластичность, адгезия

**Благодарности:** работа выполнена в рамках комплексного проекта по теме «Разработка состава многофункциональных покрытий на основе полиолефинов, технологии их производства и нанесения на стальные и бетонные поверхности для обеспечения коррозионной стойкости выпускаемого оборудования и конструкций» (договор от 21.10.2022 №13/ИЦ-88-22 о предоставлении субсидии в соответствии с постановлением Правительства Российской Федерации от 09.04.2010 № 218).

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Информация об авторах:** Латыпов Олег Ренатович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Материаловедение и защита от коррозии» Уфимского государственного нефтяного технического университета. <https://orcid.org/0000-0002-4487-1516>. E-mail: o.r.latyrov@mail.ru; Ямщикова Светлана Алексеевна – кандидат технических наук, доцент кафедры «Материаловедение и защита от коррозии» Уфимского государственного нефтяного технического университета. E-mail: svetamzk@mail.ru; Антонов Антон Вячеславович – главный технолог ООО «УралЭнергоРесурс». E-mail: antonov.av@mpp74.ru; Даминев Рустем Рифович – доктор технических наук,

\* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author.

профессор, директор Института нефтегазового инжиниринга и цифровых технологий Уфимского государственного нефтяного технического университета. E-mail: daminew@mail.ru; *Латыпова Дина Ринатовна* – кандидат технических наук, доцент кафедры «Материаловедение и защита от коррозии» Уфимского государственного нефтяного технического университета. <https://orcid.org/0000-0002-0637-3313>. E-mail: d.r.latypova@mail.ru; *Туркин Иван Сергеевич* – заместитель генерального директора по перспективному развитию ООО «УралЭнергоРесурс»; *Исрафилов Эльдар Ильгамович* – преподаватель кафедры «Материаловедение и защита от коррозии» Уфимского государственного нефтяного технического университета. E-mail: israfilov.eld@yandex.ru

**Вклад авторов:** *Латыпов Олег Ренатович* – создание концепции, обобщение результатов исследования, работа с текстом рукописи; *Ямщикова Светлана Алексеевна* – работа с литературными источниками; *Антонов Антон Вячеславович* – нанесение покрытия на металлические образцы; *Даминев Рустем Рифович* – интерпретация результатов исследования; *Латыпова Дина Ринатовна* – проведение сравнительного анализа; *Туркин Иван Сергеевич* – обобщение результатов исследования; *Исрафилов Эльдар Ильгамович* – проведение экспериментов.

**Для цитирования:** Анализ химической стойкости термопластичных полимерных покрытий на основе полиолефинов в растворах кислот, солей и щелочей / О. Р. Латыпов, С. А. Ямщикова, А. В. Антонов [и др.] // Весті Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя фізіка-тэхнічных навук. – 2025. – Т. 70, № 1. – С. 7–16. <https://doi.org/10.29235/1561-8358-2025-70-1-7-16>

Поступила в редакцию: 10.09.2024

Доработанный вариант: 18.12.2024

Утверждена к публикации: 06.03.2025

Подписана в печать: 12.03.2025

### Original article

**Oleg R. Latypov<sup>1\*</sup>, Svetlana A. Yamshchikova<sup>1</sup>, Anton V. Antonov<sup>2</sup>, Rustem R. Daminev<sup>1</sup>,  
Dina R. Latypova<sup>1</sup>, Ivan S. Turkin<sup>2</sup>, Eldar I. Israfilov<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Federal State Educational Institution of Higher Education “Ufa State Petroleum Technological University”,  
Department of Materials Science and Corrosion Protection,*

*1, Kosmonavtov St., 450064, Ufa, Republic of Bashkortostan, Russian Federation*

<sup>2</sup>*Limited Liability Company “UralEnergoResurs”,*

*12, Metallurgov Ave., 455000, Magnitogorsk, Chelyabinsk Region, Russian Federation*

### ANALYSIS OF CHEMICAL RESISTANCE OF THERMOPLASTIC POLYMER COATINGS BASED ON POLYOLEFIN IN SOLUTIONS OF ACIDS, SALTS AND ALKALIS

**Abstract.** The team of authors has developed a new composition of powder polymer paint, which has a number of advantages – higher adhesion, chemical resistance and sufficient mechanical strength. Studies of the chemical resistance of coatings based on powder polymer paint were carried out by exposing coating samples to solutions of acids, salts and alkalis with concentrations of 5, 10 and 15 %. Changes in the decorative and protective properties of the thermoplastic coating were observed after exposure. Analysis of the coating surface showed that the studied concentrations of salt, acid and alkali solutions do not have a significant effect on the change in the decorative and protective properties of the thermoplastic coating. Of particular interest was the observation of the corrosive effect of the medium in the coating defect after keeping the samples in NaOH, NaCl and HCl solutions with a concentration of 15 %. After exposure of metal samples with a defect in thermoplastic coating to a 15 % NaOH solution, passivation of the metal surface in the defect occurred, which is evident from the absence of corrosion products after testing. In 15 % NaCl and HCl solutions, the presence of corrosion products was visually noted. However, no significant peeling of the coating due to adhesion failure was observed. An analysis of the change in the mechanical characteristics of the coating material after its exposure to solutions of acids, salts and alkalis with a concentration of 10 % showed an acceptable decrease in the tensile strength of no more than 10 % compared to the control data. The thermoplastic coating developed in this way is recommended for use in oil and gas equipment exposed to corrosive factors.

**Keywords:** powder polymer paint, thermoplastic coating, polyolefin, chemical resistance, plasticity, adhesion

**Acknowledgments:** the work was carried as part of a comprehensive project on the topic “Development of the composition of multifunctional coatings based on polyolefin, the technology of their production and application to steel and concrete surfaces to ensure corrosion resistance of manufactured equipment and structures” (agreement dated 10.21.2022 no. 13/IC-88-22 on the provision of a subsidy in accordance with the Decree of the Government of the Russian Federation dated 04.09.2010 No. 218).

**Conflict of interest:** the authors declare that there is no conflict of interest.

**Information about the authors:** *Oleg R. Latypov* – Dr. Sci. (Engineering), Professor, Head of the Department of Materials Science and Corrosion Protection at Ufa State Petroleum Technological University. <https://orcid.org/0000-0002-4487-1516>. E-mail: o.r.latypov@mail.ru; *Svetlana A. Yamshchikova* – Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor of the Department of Materials Science and Corrosion Protection at Ufa State Petroleum Technological University. E-mail: svetamzk@mail.ru; *Anton V. Antonov* – Chief Technologist of “UralEnergoResurs” LLC. E-mail: antonov.av@mpp74.ru; *Rustem R. Daminev* – Dr. Sci. (Engineering), Professor, Director at Institute of Oil and Gas Engineering and Digital Technologies of the Ufa State Petroleum Technological University. E-mail: daminew@mail.ru; *Dina R. Latypova* – Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor of the Department of Materials Science and Corrosion Protection at Ufa State Petroleum Technological University. <https://orcid.org/0000-0002-0637-3313>. E-mail: d.r.latypova@mail.ru; *Ivan S. Turkin* – Deputy

General Director for Prospective Development of “UralEnergResurs” LLC. E-mail: 79026050628@ya.ru; Eldar I. Israfilov – Lecturer of the Department of Materials Science and Corrosion Protection at Ufa State Petroleum Technological University. E-mail: israfilow.eld@yandex.ru

**Contribution of the authors:** Oleg R. Latypov – concept creation, generalization of research results, work with the manuscript text; Svetlana A. Yamshchikova – working with literature; Anton V. Antonov – application of coating to metal samples; Rustem R. Daminev – interpretation of research results; Dina R. Latypova – conducting a comparative analysis; Ivan S. Turkin – summary of research results; Eldar I. Israfilov – conducting experiments.

**For citation:** Latypov O. R., Yamshchikova S. A., Antonov A. V., Daminev R. R., Latypova D. R., Turkin I. S., Israfilov E. I. Analysis of chemical resistance of thermoplastic polymer coatings based on polyolefin in solutions of acids, salts and alkalis. *Vestsi Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya fizika-tekhnichnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Physical-technical series*, 2025, vol. 70, no. 1, pp. 7–16 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1561-8358-2025-70-1-7-16>

Received: 10.09.2024

Modified: 18.12.2024

Approved for publication: 06.03.2025

Signed to the press: 12.03.2025

**Введение.** Одним из наиболее эффективных способов защиты металлической поверхности оборудования от воздействия коррозионной среды является применение полимерных покрытий. В последнее время появилась необходимость расширения линейки общепринятых пленкообразователей. Лакокрасочные материалы на основе органических растворителей зачастую требуют особых условий нанесения: ограниченный интервал температур, тщательная подготовка поверхности, долгий период сушки и т. п., что весьма ограничивает область их применения. Для многих из них отсутствует возможность регулирования требуемой толщины, сплошности и омического сопротивления (например, для создания систем защитных покрытий подземных сооружений и трубопроводов). Стоит также отметить весьма узкий срок эксплуатации покрытий из жидких лакокрасочных материалов – в атмосферных условиях не более 10 лет. Наблюдается нарушение сплошности покрытий уже через 2–3 года после их нанесения на металлические покрытия в атмосферных условиях под воздействием низких температур и солнечной радиации. В связи с этим становится целесообразным распространение порошковых полимерных красок, из которых получают термореактивные и термопластичные покрытия. Однако требования к данному виду покрытий в нормативной документации полностью отсутствуют, так как статистика опыта их применения показана недостаточно.

Широкое применение в производстве антикоррозионных покрытий нашли термореактивные и термопластичные порошковые лакокрасочные материалы [1–3]. Главное их преимущество состоит в том, что термопластичные порошковые лакокрасочные материалы образуют покрытия за счет сплавления частиц и охлаждения полимерных расплавов без протекания химических превращений [4]. Состав образующихся при этом пленок соответствует составу исходного материала. Защитные покрытия обладают обратимыми свойствами при повторном нагревании, как и исходные термопластичные материалы, из которых они формируются. Термореактивные краски, наоборот, образуют покрытия за счет сплавления частиц и протекания последующих химических превращений. Химический состав покрытий из таких красок существенно отличается от своего первоначального. Образующиеся покрытия уже являются неплавкими и необратимыми [5–7]. Выбор того или иного состава покрытия связан прежде всего с условиями эксплуатации защищаемого оборудования, главным образом с уровнем агрессивности среды [8].

Расширение эксплуатационных свойств покрытий обеспечивается введением в их состав помимо пленкообразователя (полиэтилена) различных модификаторов [9]. Одним из способов модификации полиолефинов является их прививка малеиновым ангидридом. Количество сшивающих добавок составляет, как правило, 0,2–3,0 мас.% [10, 11]. При структурировании полиэтилена существенно меняется его структура: уменьшается степень кристалличности, изменяется морфология надмолекулярных структур, образуются мостичные связи, характер которых зависит от условий проведения процесса. Эти изменения в структуре положительно сказываются на свойствах полиэтилена и получаемых из него покрытий. В частности, снижается модуль упругости полимера и увеличиваются прочность при растяжении, относительное удлинение и адгезия покрытий. Запас прочности покрытий, представляющий собой отношение разрушающего

напряжения при растяжении к величине внутренних напряжений, возрастает от 2 до 5. Адгезия образцов к стали при структурировании увеличивается в 2–5 раз. Таким образом, вероятность растрескивания и отслаивания покрытий при длительной эксплуатации резко уменьшается.

Но, как и любой другой материал, полимерные материалы тоже подвергаются разрушению, что приводит к старению покрытий. Растворы агрессивных сред могут вызвать деградацию полимерных материалов, что способствует к потере их прочности, упругости и других свойств. Также существует вероятность того, что агрессивные среды обусловят потерю адгезии между полимерным покрытием и основным материалом. Воздействие агрессивных сред на термопластичное полимерное покрытие может вызвать также коррозию металлических поверхностей под покрытием, если они проникают сквозь поры и дефекты покрытия и взаимодействуют с металлом.

**Цель и задачи.** *Целью данной работы* была разработка оригинального состава порошковой полимерной краски на основе полиолефинов для ее нанесения в виде термопластичного покрытия на металлические конструкции, которые эксплуатируются в агрессивных природных и технологических средах. Разработанное термопластичное покрытие отличается повышенными значениями адгезии к металлу, прочности и пластичности, что дает возможность его применения как в области машиностроения, так и для защиты нефтегазового оборудования и трубопроводов от коррозии.

Для обеспечения заданных физико-химических свойств покрытия, необходимых при эксплуатации нефтегазового оборудования, была разработана порошковая полимерная краска, состоящая из термопластичного пленкообразователя на основе полиэтилена низкого давления, адгезива, антиоксидантов и пигмента. Размер частиц порошковой полимерной краски составлял от 165 до 315 мкм (рис. 1). Такой размер частиц необходим для обеспечения технологического процесса нанесения покрытия (исключает «пыление», слеживаемость при транспортировке и хранении).

Покрытия на основе полиолефинов наносятся газопламенным напылением, окунанием в псевдоожигженный слой и электростатическим напылением. Потери порошковой краски при ее нанесении на металлические и бетонные поверхности указанными способами по сравнению с жидкими лакокрасочными материалами значительно меньше, а качество образовавшегося покрытия является удовлетворительным в течение требуемого срока эксплуатации [12–14].

Задачами исследования являлись нанесение разработанной порошковой полимерной краски на основе полиолефинов на металлические образцы из стали 08пс (ГОСТ 1050–2013)<sup>1</sup> путем окунания в псевдоожигженный слой; изготовление образцов из порошковой полимерной краски для механических испытаний в виде лопаточек; экспозиция двух видов образцов в химических растворах; визуальная оценка изменения внешнего вида образцов покрытия; проведение меха-

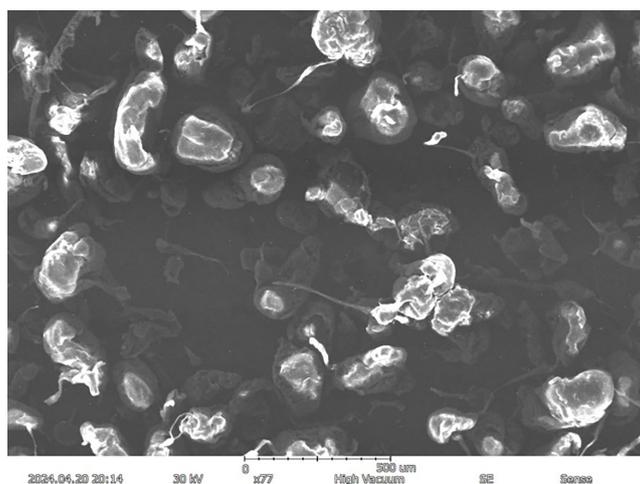


Рис. 1. Внешний вид частиц порошковой полимерной краски (77<sup>×</sup>)  
Fig. 1. Appearance of powder polymer paint particles (77<sup>×</sup>)

<sup>1</sup> ГОСТ 1050–2013.Metalлопродукция из нелегированных конструкционных качественных и специальных сталей. М.: Стандартинформ, 2014. 32 с.

нических испытаний лопаточек для определения предела прочности при растяжении и относительного удлинения при разрыве.

**Методика проведения исследования.** Методика исследования заключалась в оценке внешнего вида термопластичного полимерного покрытия на основе полиолефинов, нанесенного на металлические образцы из стали 08пс путем окунания в псевдооживленный слой, и изменения механических свойств образцов в виде лопаток, выполненных из порошковой краски, после их экспозиции в следующих химических растворах: кислота соляная (HCl), натрий хлористый (NaCl) и натрия гидроксид (NaOH).

Метод основан на визуальном наблюдении изменения внешнего вида металлических образцов с нанесенным термопластическим покрытием и определении механических свойств образцов покрытий после воздействия агрессивных жидкостей в течение заданного времени. Для визуальной оценки дефектов использовали лупы типа ЛП увеличения  $4\times$  и  $10\times$ . Для механических испытаний применяли универсальную испытательную машину UTM 4204 (Китай).

Для исследования были подготовлены, четыре образца термопластичного покрытия, изготовленного в виде лопаточек, предназначенных для механических испытаний на разрывной машине, а также четыре образца из стали 08пс с нанесенным термопластичным полимерным покрытием методом псевдооживленного слоя.

Чтобы оценить изменения механических характеристик после выдержки в агрессивных средах, образцы термопластичного покрытия в виде лопаточек испытывали на растяжение. Образцы-лопаточки изготовили следующим образом: взвесили навеску 37–39 г гранулы краски, равномерно распределили в пресс-форме, установили пресс-форму в нагретый до  $180\text{ }^\circ\text{C}$  пресс и пресовали расплавленные гранулы краски с нагрузкой 1500 кгс в течение 10 мин. Затем усилие прессы поднимали до 20 000 кгс и прессовали течение 7 мин, охладили пресс-форму, не снижая давления, и вырубili лопаточки из получившейся полимерной пластины по ГОСТ 11262–2017<sup>1</sup>, тип образца 1, толщиной 1 мм, размером  $115 \times 24$  мм и шириной 5 мм в месте разрыва.

На рис. 2 показан один из образцов, подготовленных для испытаний.

Поверхность металлических образцов из стали 08пс размером  $70 \times 150$  мм очистили от твердых включений путем пескоструйной очистки, обезжирили ацетоном, равномерно нагрели в сушильном шкафу до температуры  $270\text{--}300\text{ }^\circ\text{C}$ , погрузили нагретую деталь в псевдооживленный слой термопластичной краски в ванне и выдержали в течение 6 с, затем охладили. Толщина термопластичного покрытия составляла  $0,5 \pm 0,05$  мм.

Полученные образцы вертикально погружали в эксикатор с агрессивным раствором таким образом, чтобы расстояние между ними и стенками эксикатора было не менее 10 мм, и закрывали крышкой. Для обеспечения вертикального положения образец помещали между двумя стеклянными палочками, опирающимися концами в стенки эксикатора. Стержни подвешивали за крючки на стеклянные палочки, опирающиеся концами в стенки эксикатора. Стеклянные палочки закрепляли над жидкостью в верхней части эксикатора. Уровень жидкости в процессе испытаний поддерживался постоянным. По мере уменьшения уровня жидкости она добавлялась.

Испытания на химическую стойкость к воздействию растворов HCl, NaCl и NaOH проводили при температуре  $(20 \pm 2)\text{ }^\circ\text{C}$  в течение 7 сут. Концентрации растворов составляли 5, 10 и 15 %. После испытаний образцы извлекали из раствора и готовили к осмотру: промывали проточной водой и высушивали фильтровальной бумагой.

Первоначально для исследования были подготовлены 5%-ные растворы NaCl, NaOH, HCl. В качестве растворителя использовалась дистиллированная вода. Оба вида исследуемых образцов (из стали 08пс с нанесенным покрытием и в виде лопаточек) были погружены в лабораторные стаканы с растворами для испытания таким образом, чтобы они не соприкасались со стенками стакана, а расстояние между ними составляло не менее 10 мм. При этом уровень жидкости оставался постоянным и покрывал исследуемые образцы на  $2/3$  их высоты.



Рис. 2. Внешний вид образца для испытания в виде лопаточки  
Fig. 2. Appearance of the test sample in the form of a spatula

<sup>1</sup> ГОСТ 11262–2017 (ISO 527-2:2012). Пластмассы. Метод испытания на растяжение. М.: Стандартинформ, 2018. 20 с.

Для обеспечения вертикального положения в специальный крючок для закрепления пластинки были установлены деревянные палочки таким образом, чтобы их концы упирались в края лабораторных стаканов. После этого стаканы с помещенными в них образцами были плотно накрыты полиэтиленовой пленкой для исключения испарения растворов. Температура жидкости при проведении испытания составляла  $(20 \pm 2)$  °С.

После проведения испытания в течение 7 сут образцы извлекались из растворов агрессивных сред. Далее образцы с исследуемым покрытием промывались проточной водой и высушивались фильтровальной бумагой.

Таким же образом проводилась экспозиция образцов с покрытиями в 10%-ном и 15%-ном растворах NaCl, NaOH, HCl. Состав и концентрация химических растворов были выбраны в соответствии с рекомендациями ГОСТ 9.403–2022<sup>1</sup>.

Затем путем сопоставления с контрольным образцом были определены изменения декоративных и защитных свойств покрытия в соответствии с ГОСТ 9.407–2022<sup>2</sup> (табл. 1).

Т а б л и ц а 1. Оценка изменения декоративных и защитных свойств термопластичного покрытия в соответствии с ГОСТ 9.407–2022 в 15%-ных растворах NaCl, NaOH, HCl

Table 1. Evaluation of changes in decorative and protective properties of thermoplastic coating in accordance with GOST 9.407–2022 in 15% solutions of NaCl, NaOH, HCl

Метод оценки внешнего вида Appearance assessment method	Номер таблицы по ГОСТ 9.407–2022 Table number according to GOST 9.407–2022	Балл разрушения Destruction score	Характеристика разрушений Characteristics of destruction
Степень изменения блеска Degree of gloss change	4	0	Изменения отсутствуют There are no changes
Степень изменения цвета покрытия Degree of color change of the coating	5	0	Изменения отсутствуют There are no changes
Степень изменения грязеудержания покрытия Degree of change in the dirt retention of the coating	6	0	Изменения отсутствуют There are no changes
Степень изменения при определении меления Degree of change in the determination of chalking	7	0	На ткани частицы пигмента отсутствуют There are no pigment particles on the fabric
Степень растрескивания покрытия Degree of cracking of the coating	8	0	Отсутствие трещин No cracks
Степень отслаивания покрытий Degree of peeling of coatings	9	0	Отслаивание отсутствует There is no peeling
Степень изменения покрытия при определении выветривания Degree of change in the coating when determining weathering	10	0	Отсутствие дефектов Absence of defects
Степень образования пузырей (вздутий) Degree of formation of bubbles (blisters)	–	0	Отсутствие образования пузырей No bubble formation

После осмотра образцы термопластичного покрытия, выполненные в виде лопаточек, подвергали механическим испытаниям. Полимерное покрытие считали стойким к химическому сопротивлению коррозии, если после испытаний значение предела прочности при растяжении и относительного удлинения при разрыве составляло 95 % или более от начального значения.

Образцы закрепляли в зажимы испытательной машины по меткам, определяющим положение кромок зажимов, таким образом, чтобы продольные оси зажимов и ось образца совпадали между собой. Зажимы равномерно затягивали, чтобы исключить скольжение образца в процессе испытания, но при этом не происходило его разрушение в месте закрепления.

<sup>1</sup> ГОСТ 9.403–2022. Единая система защиты от коррозии и старения. Покрытия лакокрасочные. Методы испытаний на стойкость к статическому воздействию жидкостей. М.: Рос. ин-т стандартизации, 2022. 9 с.

<sup>2</sup> ГОСТ 9.407–2022. Единая система защиты от коррозии и старения. Покрытия лакокрасочные. Метод оценки внешнего вида. М.: Рос. ин-т стандартизации, 2022. 14 с.

Во время испытания измерялись нагрузка и удлинение образца непрерывно или в моменты достижения предела текучести, максимальной нагрузки, разрушения образца.

Прочность при растяжении полиэтилена согласно ГОСТ 11262–2017 должна превосходить значение 12 МПа, относительное удлинение после экспозиции в химических растворах при разрыве – 95 % и более.

**Результаты и их обсуждение.** Результаты эксперимента показали, что декоративные и защитные свойства термопластичного покрытия после экспозиции в растворах не изменились.

Методом Х-образного надреза была проведена визуальная оценка адгезивных свойств покрытия после отслаивания приклеенной к нему липкой ленты в соответствии с ГОСТ 32702.2–2014<sup>1</sup>. Метод показал отсутствие отслаивания или удаления покрытия, балл разрушения был равен 0, что свидетельствует о хорошей адгезии покрытия к поверхности металла.

Далее для оценки изменения защитных свойств термопластичного полимерного покрытия в условиях сквозного дефекта образцы после испытаний адгезионных свойств поместили в растворы 15 % гидроксида натрия, хлорида натрия и соляной кислоты. На рис. 3, *a* представлен внешний вид образцов с Х-образными надрезами. После 7 сут экспозиции образцы с покрытием были промыты проточной водой и высушены фильтровальной бумагой. На рис. 3, *b* показан внешний вид образцов после экспозиции в 15%-ных растворах NaCl, NaOH, HCl.

Испытуемое термопластичное полимерное покрытие показало хорошую стойкость к статическому воздействию агрессивных сред, что свидетельствует о его высокой химической стойкости и хорошей адгезии к металлическому основанию. Эти параметры важны для долговечности и эффективности термопластичного полимерного покрытия в средах эксплуатации.

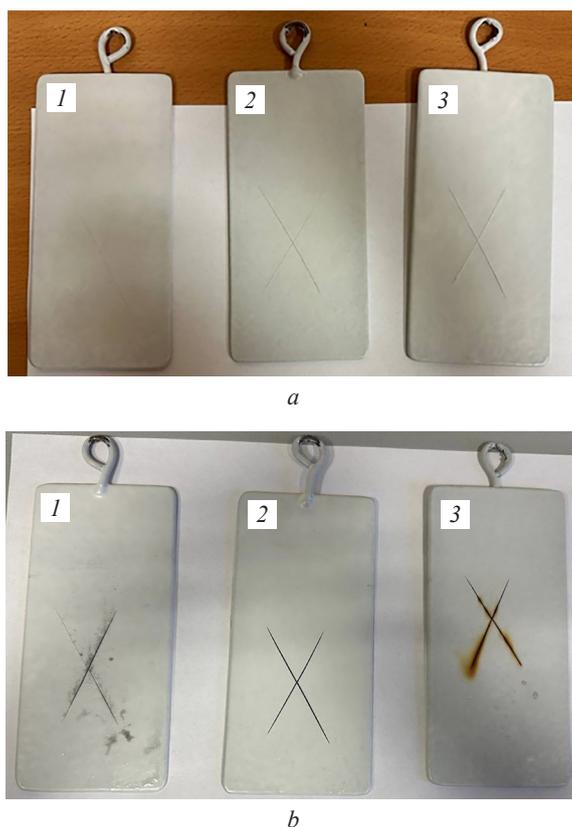


Рис. 3. Внешний вид Х-образных надрезов на образцах из стали 08пс с нанесенным термопластичным полимерным покрытием: *a* – перед испытаниями; *b* – после экспозиции в течение 7 сут в 15%-ных растворах NaCl (1), NaOH (2), HCl (3)

Fig. 3. Appearance of X-shaped incisions on 08ps steel samples with a thermoplastic polymer coating: *a* – before testing; *b* – after exposure for 7 days in 15% solutions of NaCl (1), NaOH (2), HCl (3)

<sup>1</sup> ГОСТ 32702.2–2014. Материалы лакокрасочные. Определение адгезии методом Х-образного надреза. М.: Стандартинформ, 2014. 12 с.

В табл. 2 показаны результаты определения стойкости термопластичного покрытия к статическому воздействию водных растворов солей, кислот, щелочей.

Таблица 2. Результаты определения стойкости термопластичного покрытия к статическому воздействию водных растворов солей, кислот, щелочей  
Table 2. Results of determining the resistance of thermoplastic coating to static action of aqueous solutions of salts, acids, alkalis

Агрессивная среда Aggressive environment	Балл разрушения Destruction score	Характеристика разрушения Characteristics of destruction
Соляная кислота (HCl) 15 % Hydrochloric acid (HCl) 15 %	2	Выкрашивание покрытия вдоль любого из надрезов шириной до 1,5 мм Chipping of the coating along any of the incisions up to 1.5 mm wide
Гидроксид натрия (NaOH) 15 % Sodium hydroxide (NaOH) 15 %	0	Отсутствие отслаивания или удаления покрытия No peeling or removal of the coating
Хлорид натрия (NaCl) 15 % Sodium chloride (NaCl) 15 %	3	Выкрашивание покрытия на большом количестве надрезов шириной до 3,0 мм Chipping of the coating on a large number of incisions up to 3.0 mm wide

Данные табл. 2 свидетельствуют о воздействии различных коррозионных сред. В растворе щелочи произошла пассивация металлической поверхности в дефекте покрытия, что видно по отсутствию продуктов коррозии после испытаний. В растворах 15 % NaCl и HCl визуально отмечено присутствие продуктов коррозии (см. рис. 3, а). Это связано с тем, что ионы хлора свободно проникают в дефекты покрытия и тем самым вызывают появление растворимых продуктов хлорида железа. С учетом стадийности электрохимических процессов в растворе кислоты протекает процесс водородной деполяризации, что, однако, не вызвало сильного отслоения покрытия от поверхности металла. В растворе соли, наоборот, количество ионов гидроксония ограничено и процесс электрохимической коррозии протекает с кислородной деполяризацией. В результате этого процесса гидроксил-ионы способствуют нарушению адгезионных связей.

С целью выявления изменения прочности полимерного материала в выбранных условиях подготовленные плоские образцы термопластичного покрытия устанавливали на экспозицию также в щелочном, кислотном и солевом растворах с концентрацией 10 % в течение 7 сут.

Далее проводили испытания на растяжение. Внешний вид кривых «напряжение – деформация» для полимерных материалов имеют схожесть с типичными кривыми растяжения полимерных материалов с ярко выраженным на кривой пределом текучести, что позволило рассчитать изменение предела прочности образцов после испытания.

**Результаты и их обсуждение.** Исходя из полученных данных обработки построены графики, характеризующие средние значения пределов прочности в зависимости от среды, в которой выдерживались образцы перед испытанием на разрыв (рис. 4).

Видно, что предел прочности материала снижается после выдержки в растворах щелочи, соли и кислоты не более 10 % по сравнению с контрольными данными. При этом наибольшее влияние на снижение предела прочности оказывают щелочные среды, наименьшее воздействие – растворы соли. Однако такое снижение прочности и пластичности не оказывает существенного влияния на сплошность термопластичного покрытия, нанесенного на металлическую поверхность. Диффузия компонентов коррозионной среды сквозь структуру покрытия незначительна, в связи с чем развитие подпленочной коррозии затруднительно, а покрытие обеспечивает анодную поляризацию металла под ним.

Результаты испытания показали высокую стойкость к статическому воздействию разработанного термопластичного покрытия на основе полиэтилена в растворах солей, кислот и щелочей. Такие покрытия могут применяться для защиты от коррозии насосного оборудования, резервуаров и аппаратов, контактирующих с агрессивной средой. При этом покрытия можно наносить как на внутреннюю, так и на внешнюю поверхность контактирующего с растворами скважинного оборудования для кислотной обработки скважин, содержащих до 15 об.% соляной кислоты, которое в связи с этим имеет очень ограниченный срок эксплуатации. Одним из перспективных направлений применения термопластичного полимерного покрытия на основе полиолефинов может стать изоляция сварных швов и соединений магистральных трубопроводов.

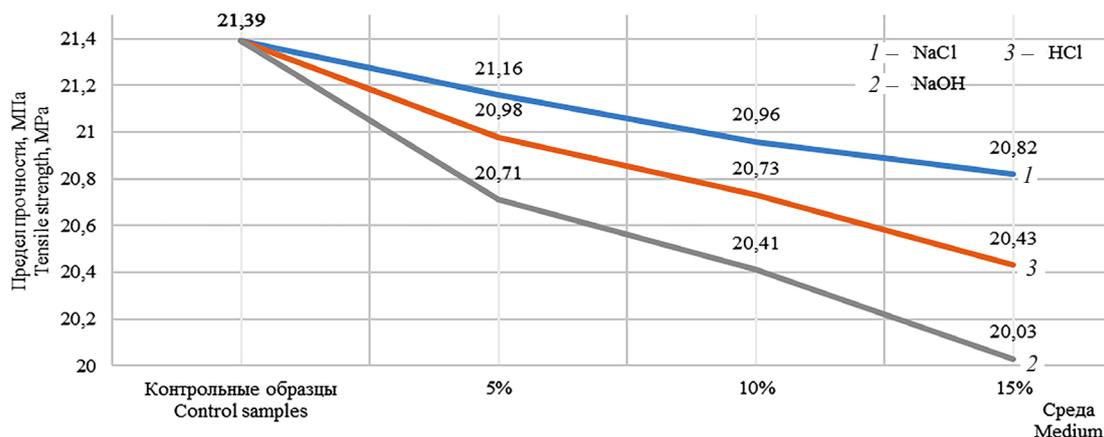


Рис. 4. Изменение предела прочности при растяжении после экспозиции в растворах в NaCl, NaOH, HCl с концентрацией 5, 10 и 15 %

Fig. 4. Change in tensile strength after exposure to solutions in NaCl, NaOH, HCl with a concentration of 5, 10 and 15 %

**Заклучение.** В ходе исследований возможности применения полимерных термопластичных покрытий на основе полиолефинов была разработана новая рецептура порошковой полимерной краски, состоящая из термопластичного пленкообразователя на основе полиэтилена низкого давления, адгезива, антиоксидантов и пигмента, обладающая улучшенными физико-химическими свойствами – повышенной адгезией и химической стойкостью.

Оценка химической стойкости поверхности термопластичного покрытия после экспозиции покрытия в растворах кислот, солей и щелочей с концентрациями 5, 10 и 15 % показала полное отсутствие изменения его декоративных и защитных свойств.

В процессе экспозиции металлических образцов с дефектом термопластичного покрытия в растворе NaOH с концентрацией 15 % произошла пассивация металлической поверхности в дефекте, что видно по отсутствию продуктов коррозии после испытаний. В растворах 15 % NaCl и HCl визуально отмечено присутствие продуктов коррозии. Однако существенного отслоения покрытия в связи с нарушением адгезии не наблюдалось.

Анализ изменения механических характеристик материала покрытия после его экспозиции в растворах кислот, солей и щелочей с концентрацией 10 % показал приемлемое снижение предела прочности – не более 10 % по сравнению с контрольными данными. После испытаний значение относительного удлинения при разрыве составило более 95 % от начального значения.

Разработанное термопластичное покрытие рекомендуется к применению для нефтегазового оборудования в условиях воздействия коррозионных факторов.

### Список использованных источников

1. Шишенок, М. В. Современные полимерные материалы / М. В. Шишенок. – Минск: Выш. шк., 2017. – 273 с.
2. Бондарь, М. А. Разработка состава интеллектуального покрытия для защиты от коррозии оборудования нефтепереработки / М. А. Бондарь, О. Р. Латыпов, Д. Е. Бугай // Инженерная физика. – 2023. – № 7. – С. 3–6.
3. Прокопчук, Н. Р. Химия и физика пленкообразующих веществ / Н. Р. Прокопчук, А. Л. Шутова, П. П. Казаков. – Минск: БГТУ, 2014. – 365 с.
4. Разработка компонентного состава порошковой краски с антистатическими свойствами на основе полиэфирной смолы / Л. Н. Наумова, В. Ю. Ватаман, Н. А. Сущенко, С. Н. Гетманов // Вестник Сыктывкарского университета. Серия 2, Биология. Геоология. Химия. Экология. – 2023. – № 2 (26). – С. 54–69. <https://doi.org/10.34130/2306-6229-2023-2-54>
5. Разработка состава интеллектуального покрытия для защиты нефтеперерабатывающего оборудования от коррозии / М. А. Бондарь, О. Р. Латыпов, Д. Р. Латыпова [и др.] // Нефтегазовое дело. – 2022. – Т. 20, № 2. – С. 111–119. <https://doi.org/10.17122/ngdelo-2022-2-111-119>
6. Spyrou, E. Powder Coatings: Chemistry and Technology / E. Spyrou. – 3<sup>rd</sup> ed. – Vincentz Network, 2012. – 380 p. <https://doi.org/10.1515/9783748602361>
7. Барабанов, С. Н. Исследование технологических параметров порошковых покрытий / С. Н. Барабанов, Т. Е. Карасева // Научные горизонты. – 2023. – № 6 (70). – С. 91–96.
8. Yamshchikova, S. A. Selection of Protective Coating System for Tank Inner Surface / S. A. Yamshchikova, O. A. Nasibullina // Materials Scientific Forum. – 2023. – Vol. 1083. – P. 178–182. <https://doi.org/10.4028/p-660lid>

9. Maleic anhydride grafted onto high density polyethylene with an enhanced grafting degree via monomer microencapsulation / I. Rahayu, A. Zainuddin, Y. T. Malik, S. Hendrana // *Heliyon*. – 2020. – Vol. 6, Iss. 4. – Art. ID e03742. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03742>
10. Yuncan, Zhang. Functionalization of polyolefins with maleic anhydride in melt state through ultrasonic initiation / Yuncan Zhang, Jinyao Chen, Huilin Li // *Polymer*. – 2006. – Vol. 47, Iss. 13. – P. 4750–4759. <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2006.04.040>
11. Study on application performance of oxidized polyethylene wax in powder coatings / Wenxue Wang, Yujue Wang, Ziliang Liu [et al.] // *Progress in Organic Coatings*. – 2019. – Vol. 136. – Art. ID 105294. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2019.105294>
12. Оценка физико-механических свойств термопластичного покрытия на основе полиолефинов / О. Р. Латыпов, С. А. Ямщикова, А. В. Антонов [и др.] // *Нефтегазовое дело*. – 2024. – № 5. – С. 177–192. <https://doi.org/10.17122/ogbus-2024-5-177-192>
13. Разработка рецептуры порошковой полимерной краски для защиты нефтегазовых объектов от коррозии / О. Р. Латыпов, С. А. Ямщикова, А. В. Антонов [и др.] // *Нефтегазовое дело*. – 2024. – № 4. – С. 91–110. <https://doi.org/10.17122/ogbus-2024-4-91-110>
14. Современные возможности применения порошковых лакокрасочных материалов в нефтегазовой отрасли / О. Р. Латыпов, С. А. Ямщикова, А. В. Антонов [и др.] // *Башкирский химический журнал*. – 2024. – Т. 31, № 3. – С. 76–80.

## References

1. Shishonok M. V. *Modern Polymer Materials*. Minsk, Vysshaya shkola Publ., 2017. 273 p. (in Russian).
2. Bondar M. A., Latypov O. R., Bugai D. E. Development of an intelligent coating composition for corrosion protection of oil refining equipment. *Inzhenernaya fizika = Engineering Physics*, 2023, no. 7, pp. 3–6 (in Russian).
3. Prokopchuk N. R., Shutova A. L., Kazakov P. P. *Chemistry and Physics of Film-Forming Substances*. Minsk, BSTU Publ., 2014. 365 p. (in Russian).
4. Naumova L. N., Vataman V. Yu., Sushchenko N. A., Getmanov S. N. Development of the component composition of powder paint with antistatic properties based on polyester resin. *Vestnik Syktyvskarskogo universiteta. Seriya 2. Biologiya, geologiya, himiya, ekologiya = Syktyvkar University Bulletin. Series 2. Biology, Geology, Chemistry, Ecology*, 2023, no. 2 (26), pp. 54–69 (in Russian). <https://doi.org/10.34130/2306-6229-2023-2-54>
5. Bondar M. A., Latypov O. R., Latypova D. R., Kueli A. K., Tlyasheva R. R., Bugai D. E. Development of an intelligent coating composition to protect oil refining equipment from corrosion. *Neftgazovoye delo = Petroleum Engineering*, 2022, vol. 20, no. 2, pp. 111–119 (in Russian). <https://doi.org/10.17122/ngdelo-2022-2-111-119>
6. Spyrou E. *Powder Coatings. Chemistry and Technology*. 3<sup>rd</sup> ed. Vincentz Network, 2012. 380 p. <https://doi.org/10.1515/9783748602361>
7. Barabanov S. N., Karaseva T. E. Research of technological parameters of powder coatings. *Nauchnyye gorizonty [Scientific Horizons]*, 2023, no. 6 (70), pp. 91–96 (in Russian).
8. Yamshchikova S. A., Nasibullina O. A. Selection of Protective Coating System for Tank Inner Surface. *Materials Science Forum*, 2023, vol. 1083, pp. 178–182. <https://doi.org/10.4028/p-6601d>
9. Rahayu I., Zainuddin A., Malik Y. T., Hendrana S. Maleic anhydride grafted onto high density polyethylene with an enhanced grafting degree via monomer microencapsulation. *Heliyon*, 2020, vol. 6, iss. 4, art. ID e03742. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03742>
10. Yuncan Zhang, Jinyao Chen, Huilin Li. Functionalization of polyolefins with maleic anhydride in melt state through ultrasonic initiation. *Polymer*, 2006, vol. 47, iss. 13, pp. 4750–4759. <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2006.04.040>
11. Wenxue Wang, Yujue Wang, Ziliang Liu, Yuying Han, Chuanxing Wang. Study on application performance of oxidized polyethylene wax in powder coatings. *Progress in Organic Coatings*, 2019, vol. 136, art. ID 105294. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2019.105294>
12. Latypov O. R., Yamshchikova S. A., Antonov A. V., Daminev R. R., Latypova D. R., Turkin I. S., Bondar M. A., Israfilov E. I. Evaluation of physical and mechanical properties of thermoplastic coating based on polyolefins. *Neftgazovoye delo = Petroleum Engineering*, 2024, no. 5, pp. 177–192 (in Russian). <https://doi.org/10.17122/ogbus-2024-5-177-192>
13. Latypov O. R., Yamshchikova S. A., Antonov A. V., Daminev R. R., Latypova D. R., Turkin I. S., Bondar M. A., Israfilov E. I. Development of a formula for powder polymer paint to protect oil and gas facilities from corrosion. *Neftgazovoye delo = Petroleum Engineering*, 2024, no. 4, pp. 91–110 (in Russian). <https://doi.org/10.17122/ogbus-2024-4-91-110>
14. Latypov O. R., Yamshchikova S. A., Antonov A. V., Daminev R. R., Latypova D. R., Turkin I. S. Modern Possibilities of Using Powder Coatings in the Oil and Gas Industry. *Bashkirskiy khimicheskij zhurnal = Bashkir Chemical Journal*, 2024, vol. 31, no. 3, pp. 76–80 (in Russian).