

УДК 621.62:678.546

## КОРРОЗИОННАЯ СТОЙКОСТЬ ГАЗОПЛАМЕННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ ПОКРЫТИЙ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ НЕОРГАНИЧЕСКИМИ ДОБАВКАМИ

Вариков Г.А., Дрозд К.М., Жорник В.И.

Исследовано влияние концентрации и дисперсности микроразмерного неорганического модификатора (ситалл, алюминиевая пудра) на коррозионную стойкость полимерного композиционного материала (ПКМ) газопламенных покрытий на основе полиэтилентерефталата (ПЭТФ), полиэтилена высокого давления (ПЭВД) и полиамида (ПА-6). Получена зависимость уровня коррозионной стойкости от дисперсности и концентрации наполнителя.

*Ключевые слова:* полимерные покрытия, газопламенное напыление, микроразмерный наполнитель, концентрация и дисперсность наполнителя, коррозионная стойкость.

(Поступила в редакцию 1 августа 2018 г.)

**Введение.** Коррозионные процессы относятся к числу тех негативных явлений, которые в значительной степени определяют ресурс использования металлических емкостей для хранения и доставки огнетушащих веществ, в свою очередь определяющий боеготовность и надежность функционирования мобильных и стационарных устройств для пожаротушения. Это требует разработки эффективных технических решений конструктивного технологического или иного характера.

Полимерные материалы являются наиболее прогрессивным видом защитных материалов, и темпы роста их использования для защиты от коррозии опережают темпы роста применения для этих целей металлических и керамических материалов.

В отличие от металлов, где процессы взаимодействия с агрессивной средой происходят на их поверхности, разрушение полимеров в агрессивных средах происходит в некоторой реакционной зоне, размеры которой изменяются от нескольких монослоев до полного объема полимерного изделия. Для описания процессов разрушения полимеров под воздействием агрессивных сред наиболее применим термин «химическая деструкция», под которым понимают совокупность химических процессов, приводящих к изменению химической структуры материала. Химическая деструкция протекает с разрывом межмолекулярных связей и сопровождается изменением массы полимера. Химическая деструкция – сложный физико-химический процесс, включающий диффузию агрессивной среды в полимере и последующие реакции превращения химически нестойких связей. По характеру действия на полимерные материалы, агрессивные среды делятся на две группы: физически агрессивные среды, вызывающие обратимые изменения в материале и химически агрессивные среды, под действием которых происходят необратимые изменения [1–3].

По отношению к веществам, обладающим окислительными свойствами, неустойчивы все полимеры. Максимальной стойкостью к окислителям обладают фторопласты. По отношению к кислотам и основаниям неустойчивы полимеры с гетероатомами в боковой или основной цепи и устойчивы карбоцепные полимеры, не имеющие двойных связей в основной цепи и разнородные атомы в боковых цепях. Характер взаимодействия полимеров с газообразными и жидкими средами в значительной мере определяют сорбционные и диффузионные процессы [4–6].

Защитная способность в агрессивных средах наряду со стойкостью полимерного материала к химической деструкции определяется также проницаемостью самого покрытия по отношению к агрессивной среде [7]. В связи с тем, что изменение режимов газопламенного нанесения полимерных покрытий в большей степени отражается на изменении внутри- и межмолекулярного взаимодействия макромолекул полимера, их фазового состояния, структуры (степени кристалличности), а не на изменении химического состава (формулы) полимера, то можно предположить, что режимы напыления будут в большей степени влиять на проницаемость покрытий, чем на стойкость к химической деструкции их материала. В то же время опыт применения полимерных покрытий свидетельствует о том, что независимо от способа их нанесения, степень антикоррозионных (защитных) свойств в жидких и газообразных агрессивных средах существенно зависит от правильности выбора технологических (температурно-временных) параметров формирования полимерных покрытий [7–

9]. Это обусловлено тем, что термические воздействия при нанесении покрытий приводят к тем или иным химическим, физическим и структурным изменениям полимера.

Известно также, что введение в состав полимерной матрицы различного рода наполнителей приводит к существенному изменению процессов формирования структуры кристаллических и аморфных областей полимера и его свойств. При введении мелкодисперсных частиц наполнителя повышается степень кристалличности полимера, и температура его плавления сдвигается в сторону более высоких значений. Развитая поверхность мелкодисперсных наполнителей, имеющая многочисленные центры кристаллизации, по-видимому, является источником формирования кристаллитов [10].

В связи с этим цель данной работы состояла в выявлении влияния неорганических наполнителей на коррозионную стойкость газопламенных полимерных покрытий на основе различных видов полимерных материалов.

**Материалы и методика исследований.** В качестве матрицы композиционного покрытия использовались гранулы полиэтилена высокого давления (ГОСТ 16337-77) производства завода «Полимир» ОАО «Нафтан» (г. Новополоцк), полиамида ПА-6 (ТУ 6-13-3-88) производства ОАО «Азот» (г. Гродно) и полиэтилентерефталата (ГОСТ 51695-2000) производства ОАО «Могилевхимволокно», измельченные до дисперсности 100–150 мкм. В качестве неорганической добавки использовались порошок ситалла (измельченное стекло ВВС) с размером частиц 100–150 мкм и алюминиевая пудра с размером частиц 10–20 мкм, которые смешивались с полимерным порошком. Далее производилось газопламенное напыление полученной смеси на режимах, рекомендованных [11]. Толщина полимерных покрытий составляла 250–300 мкм.

Коррозионная стойкость полимерных покрытий определялась с использованием двух методик, одна из которых связана с оценкой циклической прочности образцов, подвергнутых в различной степени воздействию агрессивной среды, а вторая – с измерением электросопротивления полимерного покрытия. Известно, что показатели циклической прочности являются одной из наиболее чувствительных характеристик, реагирующих на коррозионные повреждения материалов [12]. Исходя из этого для косвенной оценки коррозионной стойкости полимерных покрытий были проведены исследования изменения циклической прочности стальных образцов, защищенных различными газопламенными покрытиями, после экспозиции образцов в растворе серной кислоты. На образцы в виде стержней диаметром 3 мм и длиной 120 мм наносились полимерные покрытия на основе ПЭТФ, ПЭВД и ПА-6. По одному из вариантов этой методики проводились исследования образцов покрытий на основе различных полимеров, в том числе с содержанием 10 об.% ситалла после экспозиции в 0,2 н растворе серной кислоты с различной продолжительностью (от 0,1 до 12 суток). По другому варианту испытаниям подвергались образцы с покрытием на основе ПЭТФ с различным содержанием ситалла и алюминиевой пудры (от 5 до 30 об.%) после их экспозиции в 0,2 н растворе  $H_2SO_4$  в течение 12 суток. В обоих вариантах образцы подвергались испытаниям на перегиб в соответствии с ГОСТ 1579-93. Циклическая прочность оценивалась по количеству перегибов, предшествующих поломке образца. Второй из методов оценки коррозионной стойкости полимерных покрытий соответствовал методике МИ-1.2001 «Ускоренные испытания полимерных покрытий для гальванических ванн на коррозионную стойкость», разработанной в Объединенном институте машиностроения НАН Беларуси на основе ГОСТ 9.072-72. Методика заключается в экспериментальном определении зависимости ресурса покрытий от свойств агрессивной среды. Критерием отказа (предельного состояния) являлось снижение электрического сопротивления покрытия в 15 %-ном растворе серной кислоты до величины сопротивления разрушения  $R_{пр.крит}$ . Приведенное электрическое сопротивление покрытия  $R_{пр.}$  ( $Ом \cdot м^2$ ) вычислялось по формуле

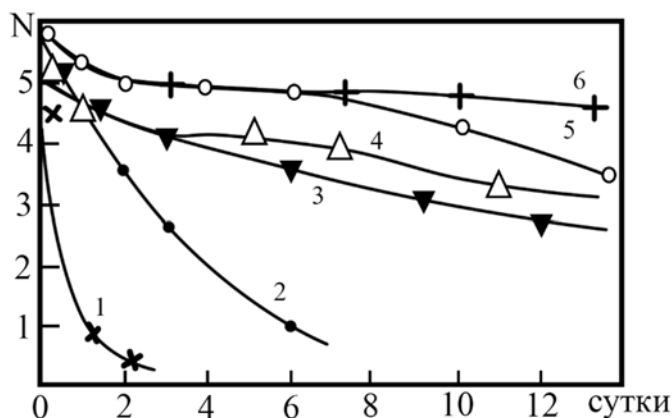
$$R_{пр.} = RS,$$

где  $R$  – общее электрическое сопротивление покрытия, Ом;  $S$  – площадь соприкосновения агрессивной среды с поверхностью покрытия,  $м^2$ .

**Результаты исследований и их обсуждение.** Контрольные измерения по первой из методик, проведенные в нормальных атмосферных условиях на образцах, не подвергнутых экспозиции в серной кислоте, показали, что циклическая прочность образцов с покрытиями выше, чем у образцов без покрытия, поскольку полимерные покрытия затрудняют доступ агрессивных компонентов атмосферы к металлу, способствуя повышению выносливости образцов. Известно, что молекулы газов, адсорбированные на поверхностях недавно обра-

зовавшихся трещин в твердых телах, создают расклинивающее давление, препятствующее смыканию трещин [12].

Циклическая прочность незащищенных образцов резко снижается уже после первых суток выдержки в коррозионной среде (кривая 1 на рис. 1). В этих же условиях количество циклов нагружения  $N$ , предшествующих разрушению образцов с покрытиями на основе ПЭТФ и ПЭВД (кривые 3–6), снижается не более чем на 15 %, и участок заметного уменьшения  $N$  относится к периоду первых суток экспозиции, что, по-видимому, соответствует деградации барьерных свойств покрытий. При дальнейшем увеличении продолжительности экспозиции в серной кислоте наблюдается незначительное изменение числа циклов  $N$  до разрушения, а появление наполнителя в полимерных покрытиях положительно сказывается на их коррозионной стойкости. Как отмечалось в работе [13], введение наполнителей в состав полимера изменяет соотношение между механизмами кристаллизации. Вероятно, наличие в расплаве полимера частиц наполнителя, в данном случае ситалла, способствует процессу гетерогенного зародышеобразования на их поверхности, что положительно отражается на проницаемости и коррозионной стойкости полимера.



1 – без покрытия; 2 – покрытие ПА-6; 3 – покрытие ПЭВД; 4 – покрытие ПЭВД+10 об.% ситалла; 5 – покрытие ПЭТФ; 6 – покрытие ПЭТФ+10 об.% ситалла

Рисунок 1. – Зависимость количества перегибов образца, предшествующих его разрушению, от длительности экспозиции в растворе кислоты и состава полимерных покрытий

Исследование зависимости степени коррозионного воздействия агрессивной среды в течение 12 ч экспозиции в растворе серной кислоты от концентрации и дисперсности неорганического наполнителя в полимерном покрытии показало, что максимальная коррозионная стойкость для дисперсного наполнителя (алюминиевая пудра) соответствует концентрации наполнителя в количестве 15–20 об.%, а для крупного (ситалл) – концентрации наполнителя в количестве 10–15 об.% (табл. 1). Уровень коррозионной стойкости при использовании более дисперсного наполнителя оказался выше.

Таблица 1. – Влияние концентрации наполнителя на коррозионную стойкость покрытий из ПЭТФ (по количеству перегибов до разрушения)

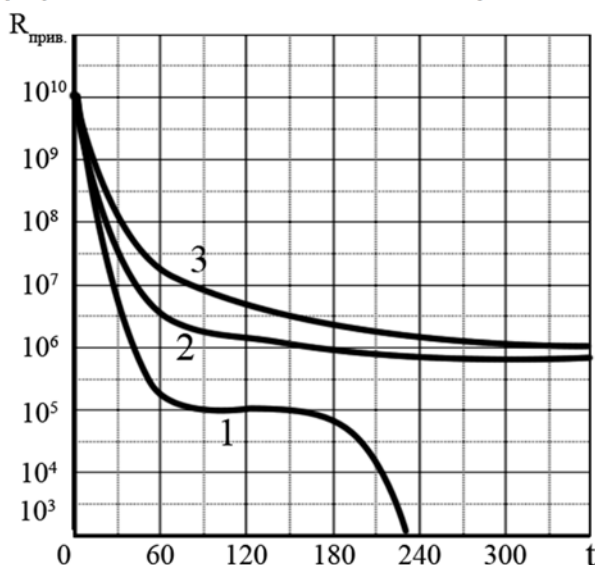
Концентрация наполнителя, об.%	Вид наполнителя	
	Ситалл	Алюминиевая пудра
5	5	6
10	6	7
15	6	8
20	5	8
25	4	6
30	3	5

Подобного рода зависимости, по нашему предположению, обусловлены спецификой упрочняющего действия наполнителей различной дисперсности и природы. Как известно [14], основными причинами упрочнения полимеров высокодисперсными наполнителями являются затраты внешней энергии на образование большого числа микротрещин около частиц наполнителя, торможение роста микротрещин при встрече с частицами наполнителя, повышение модуля упругости матрицы из-за ограничения подвижности части адсорбированных на наполнителе макромолекул. При этом существенное влияние на процессы

упрочнения/разупрочнения полимерного композиционного материала (ПКМ) оказывает степень адгезионного взаимодействия между полимером и наполнителем. Это влияние существенно отличается для мелких и крупных частиц наполнителя, и существует критическое значение дисперсности наполнителя, выше которого может проявляться разупрочняющее действие наполнителя. В ПКМ частицы наполнителя практически не деформируются вместе с полимерной матрицей вследствие значительной разницы в модулях упругости компонентов. В результате в процессе деформирования на границе «полимер-наполнитель» возникают перенапряжения, способствующие появлению трещин в матрице. Наряду с этим, в случае невысокой адгезии между компонентами может происходить отслаивание полимера от наполнителя при деформировании ПКМ. Таким образом, при деформировании материала частицы наполнителя могут являться источником дефектов и трещин в полимере. Размер этих трещин и отслоений пропорционален размеру дисперсных частиц. Если размер частиц наполнителя меньше критического, то образующиеся трещины или отслоения также меньше критического и не вызывают разрушения материала. Вместе с тем на отслоение полимера от наполнителя и образование микротрещин тратится приложенная к образцу энергия. В результате диссипации энергии в объеме композиции ее прочность повышается, поэтому введение высокодисперсного наполнителя повышает прочность полимера. Совсем другая ситуация возникает, если размер частиц наполнителя больше критического. Введение такого наполнителя в полимер вызывает возникновение крупных трещин и ведет к разрушению материала при меньших нагрузках, чем без наполнителя.

Подобного рода рассуждения можно привести и относительно концентрации наполнителя в ПКМ.

На следующем этапе исследований коррозионная стойкость напыленных полимерных покрытий оценивалась по методике МИ-1.2001. Графики зависимости приведенного электрического сопротивления от продолжительности испытания для алкидного лака, покрытия из полиэтилентерефталата и монолитного ПЭТФ приведены на рисунке 2.



1 – покрытие из алкидного лака; 2 – покрытие ПЭТФ; 3 – литая пластина из ПЭТФ

**Рисунок 2.** – Зависимость приведенного электросопротивления образцов от времени испытаний (мин) в 20 %-ном растворе серной кислоты

Полученные данные свидетельствуют о том, что защитные свойства газопламенного покрытия из ПЭТФ достаточно высокие, хотя несколько и уступают литому материалу того же состава. Отмеченному факту может быть предложено следующее объяснение. После формирования слоя из частиц ПЭТФ на поверхности стали и их оплавления полученный расплав представляет собой коллоидную гетерогенную систему, состоящую из высокомолекулярного компонента исходного материала и небольшого количества продуктов термоокислительной деструкции. Последние возникают при сгорании тонкого верхнего слоя частиц в процессе их транспортировки к поверхности основы высокотемпературным газовым потоком (рис. 3).

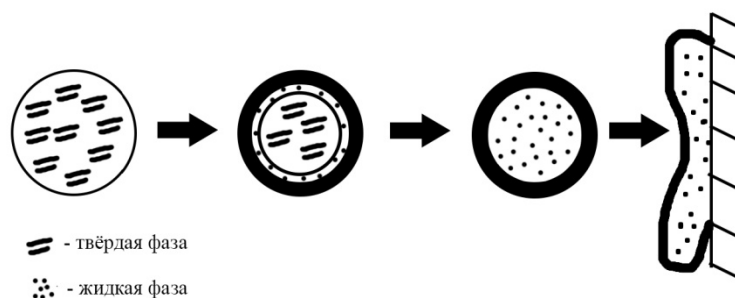


Рисунок 3. – Схематичное изображение изменения агрегатного состояния частицы полимера в процессе транспортировки высокотемпературным газовым потоком (темный слой – продукты деструкции)

В процессе кристаллизации покрытия происходит миграция низкомолекулярных продуктов в межфазную область дисперсной системы, что приводит к обогащению поверхностного слоя и границ зерен низкомолекулярными веществами. В области контактов двух фазовых составляющих (высокомолекулярного и низкомолекулярного) могут происходить морфологические изменения, способствующие возникновению локальных сдвиговых дефектов, а следовательно, и микротрещин, что обуславливает снижение механических характеристик и коррозионной стойкости газопламенных покрытий.

Таким образом, появление низкомолекулярных продуктов термоокислительной деструкции вследствие окисления полимерных частиц является определяющим фактором при формировании надмолекулярной структуры в процессе образования покрытия и обуславливает некоторое снижение свойств газопламенных полимерных покрытий по сравнению с литыми полимерными материалами, однако это снижение может быть нивелировано введением в состав полимерной матрицы неорганических наполнителей.

**Заключение.** Отмечено, что появление низкомолекулярных продуктов термоокислительной деструкции вследствие окисления полимерных частиц является определяющим фактором при формировании надмолекулярной структуры в процессе формирования газопламенных покрытий и обуславливает некоторое снижение их прочностных защитных свойств по сравнению с литыми полимерными материалами того же состава. Однако это снижение может быть со значительным превышением компенсировано введением в состав полимерной матрицы газопламенного покрытия неорганических наполнителей.

Показано, что коррозионная стойкость полимерного композиционного материала (ПКМ) в газопламенном покрытии зависит от концентрации и дисперсности неорганического наполнителя. В частности, для ПКМ с матрицей из полиэтилентерефталата и наполнителем в виде алюминиевой пудры дисперсностью 10–20 мкм максимальная коррозионная стойкость соответствует концентрации наполнителя в количестве 15–20 об.%, а для ПКМ с той же матрицей и более крупным наполнителем (ситалл дисперсностью 100–150 мкм) максимальная коррозионная стойкость достигается при 10–15 об.% наполнителя. Уровень коррозионной стойкости при использовании дисперсного наполнителя выше.

Полученные результаты исследования влияния концентрации и дисперсности неорганического наполнителя на коррозионную стойкость газопламенных полимерных покрытий могут быть использованы при отработке составов композиционных полимерных покрытий, используемых для защиты от коррозионного воздействия различных элементов металлических конструкций, таких как емкости для хранения и доставки огнетушащих веществ.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Тодт, Ф. Коррозия и защиты от коррозии / Ф. Тодт. – М.: Химия, 1967. – 709 с.
2. Можяев, Ю.В. Химическая стойкость полимеров в агрессивных средах / Ю.В. Можяев, Г.В. Зайков. – Л.: Химия, 1979. – 262 с.
3. Сухарева, Л. А. Долговечность полимерных покрытий / Л.А. Сухарева. – М.: Химия, 1984. – 240 с.
4. Назаров, А. П. Роль ионообменных взаимодействий в процессах пассивации и локальной коррозии металлов / А.П. Назаров, М.А. Петрунин, Ю.Н. Михайловский // Защита металлов. – 1992. – Т. 28, № 4. – С. 564–574.
5. Чалых, А.Е. Диффузия в полимерных системах / А.Е. Чалых. – М.: Химия. – 1987. – 312 с.

6. Кириллова, Э.И. Старение и стабилизация термопластов / Э.И. Кириллова, Э.С. Шульгина. – Л.: Химия. – 1988. – 240 с.
7. Улиг, Г.Г. Коррозия и борьба с ней. Введение в коррозионную науку и технику / Г.Г. Улиг, Р.У. Реви. – Л.: Химия, 1989. – 456 с.
8. Протасов, В.Н. Теория и практика применения полимерных покрытий в оборудовании и сооружениях нефтегазовой отрасли / В. Н. Протасов. – М.: Недра, 2007. – 374 с.
9. Зверев, Э.В. [и др.] Технология нанесения полимерных порошковых покрытий специального назначения / Э.В. Зверев [и др.] // Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева. – 2010. – № 2. – С. 34–36.
10. Nourbakhsh, A. Effects of Filler Content and Compatibilizing Agents on Mechanical Behavior of the Particle-Reinforced Composites / A. Nourbakhsh, A. Hosseinzadeh, F. Basiji // J Polym Environ. – 2011. – № 19. – P. 908–911.
11. Белоцерковский, М.А. Активированное газопламенное напыление покрытий порошками полимеров / М. А. Белоцерковский // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2007. – № 6. – С. 19–23.
12. Долгов, Н. А. Сравнение различных методов определения остаточных напряжений в полимерных покрытиях / Н. А. Долгов, Н. Н. Букетова, А. В. Бесов // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. – №7 (57). – С. 40–43.
13. Тушинский, Л. И., Исследование структуры и физико-механических свойств покрытий / Л.И. Тушинский, А. В. Плохов. – Новосибирск: Наука, 1986. – 200 с.
14. Довгяло, В.А. Композиционные материалы и покрытия на основе дисперсных полимеров. Технологические процессы / В.А. Довгяло, О.Р. Юркевич. – Минск: Навука і тэхніка, 1992. – 256 с.

## CORROSIVE RESISTANCE OF GAS-PLASMA POLYMERIC COATINGS MODIFIED BY INORGANIC ADDITIVES

Gennadii Varikov

Kiril Drozd

The state educational establishment «University of Civil Protection of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Belarus», Minsk, Belarus

Victor Zhornik, Grand PhD of Technical Sciences, Associate Professor

The State Scientific Institution «Joint Institute of Mechanical Engineering of the National Academy of Sciences of Belarus», Minsk, Belarus

*Purpose.* Evaluation of the corrosion resistance of gas-flame polymer coatings modified with inorganic additives. The research task was to check for corrosion resistance when adding a polymer composite material (PCM) of gas-flame coatings based on polyethylene terephthalate (PET), high-pressure polyethylene (HPPE) and polyamide (PA-6).

*Methods.* The corrosion resistance of polymer coatings was determined using two methods. One of them is related to the evaluation of the cyclic strength of samples exposed to an aggressive environment in varying degrees. The second method is the measurement of the electrical resistance of a polymer coating.

*Findings.* It is noted that the appearance of low molecular weight products of thermo-oxidative degradation due to oxidation of polymer particles is a determining factor in the formation of a super molecular structure during the formation of gas-flame coatings. That causes some decrease in their strength protective properties in comparison with cast polymeric materials of the same composition. However, this decrease may be significantly compensated by the introduction of inorganic fillers into the composition of the polymer matrix of the gas-flame coating.

*Application field of research.* The use of technologies for forming coatings of thermoplastic polymers to protect against corrosion and wear is one of the effective ways to increase the durability of machine parts and structural elements. The coatings formed by dispersed polymers successfully replace paintwork, electroplating and obtained by gumming.

*Conclusions.* It is shown that the corrosion resistance of a polymer composite material (PCM) in a gas-flame coating depends on the concentration and dispersion of the inorganic filler. In particular, for PCM with a matrix of polyethylene terephthalate and a filler in the form of aluminium powder with a dispersity of 10–20  $\mu\text{m}$ , the maximum corrosion resistance corresponds to a concentration of filler in the amount of 15–20 vol.%. For PCM with the same matrix and a larger filler (pyroceramics dispersion of 100–150 microns) it will correspond to the concentration 10–15 vol.% of filler. The level of corrosion resistance when using more dispersed dispersed filler is higher.

*Keywords:* polymer coatings, gas-flame coating, micro-dimensional filler, concentration and dispersion of the filler, corrosion resistance.

(The date of submitting: August 1, 2018)

### REFERENCES

1. Todt F. *Korroziya i zashchity ot korrozii* [Corrosion and corrosion protection]. Moscow: Khimiya, 1967. 709 p. (rus)
2. Mozhaev Yu.V., Zaikov G.V. *Khimicheskaya stoykost' polimerov v agressivnykh sredakh* [Chemical resistance of polymers in corrosive environments]. Leningrad: Khimiya, 1979. 262 p. (rus)
3. Sukhareva L.A. *Dolgovechnost' polimernykh pokrytiy* [Durability of polymer coatings]. Moscow: Khimiya, 1984. 240 p. (rus)
4. Nazarov A.P., Petrunin M.A., Mikhaylovskiy Yu.N. Rol' ionoobmennykh vzaimodeystviy v protsessakh passivatsii i lokal'noy korrozii metallov [The role of ion-exchange interactions in the processes of passivation and local corrosion of metals]. *Zashchita metallov*, 1992. Vol. 28, No. 4. Pp. 564–574. (rus)
5. Chalykh A.E. *Diffuziya v polimernykh sistemakh* [Diffusion in polymer systems]. Moscow: Khimiya, 1987. 312 p. (rus)
6. Kirillova E.I., Shul'gina E.S. *Starenie i stabilizatsiya termoplastov* [Aging and stabilization of thermoplastics]. Leningrad: Khimiya, 1988. 240 p. (rus)
7. Ulig, G.G., Revi R.U. *Korroziya i bor'ba s ney. Vvedenie v korrozionnuyu nauku i tekhniku* [Corrosion and fight with it. Introduction to corrosion science and techniques]. Leningrad: Khimiya, 1989. 456 p. (rus)

8. Protasov V.N. *Teoriya i praktika primeneniya polimernykh pokrytiy v oborudovanii i sooruzheniyakh neftegazovoy otrasli* [Theory and practice of application of polymer coatings in equipment and facilities of oil and gas industry]. Moscow: Nedra, 2007. 374 p. (rus)
9. Zverev E.V., Galimov E.R., Tukbaev E.E., Galimova N.Ya. Tekhnologiya naneseniya polimernykh poroshkovykh pokrytiy spetsial'nogo naznacheniya [Technology of applying polymer powder coatings for special purposes]. *Vestnik KGTU im. A.N.Tupoleva*, 2010. No. 2. Pp. 34–36. (rus)
10. Nourbakhsh A., Hosseinzadeh A., Basiji F. Effects of Filler Content and Compatibilizing Agents on Mechanical Behavior of the Particle-Reinforced Composites. *J Polym Environ*, 2011. No. 19. Pp. 908–911.
11. Belotserkovskiy M.A. Aktivirovannoe gazoplazmennoe napylenie pokrytiy poroshkami polimerov [Activated flame spraying of coatings by polymers powders]. *Uprochnyayushchie tekhnologii i pokrytiya*, 2007. No. 6. Pp. 19–23. (rus)
12. Dolgov N.A., Buketova N.N., Besov A.V. Sravnenie razlichnykh metodov opredeleniya ostatochnykh napryazheniy v polimernykh pokrytiyakh [Comparison of various methods for determining residual stresses in polymer coatings]. *Vostochno-Evropeyskiy zhurnal peredovykh tekhnologiy*, 2012. No. 7 (57). Pp. 40–43.
13. Tushinskiy L.I., Plokhov A.V. *Issledovanie struktury i fiziko-mekhanicheskikh svoystv pokrytiy* [The study of the structure and physico-mechanical properties of coatings]. Novosibirsk: Nauka, 1986. 200 p. (rus)
14. Dovgyalo V.A., Yurkevich O.R. *Kompozitsionnye materialy i pokrytiya na osnove dispersnykh polimerov. Tekhnologicheskie protsessy* [Composite materials and coatings based on dispersed polymers. Technological processes]. Minsk: Navuka i tekhnika, 1992. 256 p. (rus)