

Научная статья
УДК 667.637.2:[678.84 + 678.043]
doi:10.37614/2949-1215.2025.16.2.025

ОРГАНОСИЛИКАТНЫЕ ПОКРЫТИЯ С НИЗКИМ ГРЯЗЕУДЕРЖАНИЕМ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ РАДИАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКИ

Светлана Викторовна Чуппина

ООО «Градиация», Санкт-Петербург, Россия, tchoup@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-1327-2748>

Аннотация

Приведены результаты влияния отверждающего агента полиметил(диметил)силоксисилазана на свойства органосиликатной композиции ОС-51-03 зеленой и покрытия, сформированные из этой композиции. Проведено сравнение свойств покрытий с экспериментальным отвердителем со свойствами покрытий, сформированных методом «горячей сушки», а также в присутствии коммерческих отвердителей АГМ-3, АГМ-9 и МСН-7, по физико-механическим, декоративным, защитным и электроизоляционным показателям, гидрофобности и коэффициентам паропроницаемости. Показано, что использование полиметил(диметил)силоксисилазана в качестве отвердителя более технологично, чем использование продукта МСН-7, позволяет улучшить комплекс свойств органосиликатного покрытия ОС-51-03.

Ключевые слова:

1-аминогексаметилен-6-аминометилентриэтоксисилан, аминопропилтриэтоксисиланы, гидрофобность, жизнеспособность многокомпонентных систем с отвердителем, коэффициенты паропроницаемости, материалы лакокрасочные, органосиликатные покрытия, полиорганосилоксаны, полиметил(диметил)силазан, термостойкость, электроизоляционные свойства

Финансирование:

собственные средства организации.

Для цитирования:

Чуппина С. В. Органосиликатные покрытия с низким грязеудержанием для улучшения радиационной обстановки // Труды Кольского научного центра РАН. Серия: Технические науки. 2025. Т. 16, № 2. С. 150–155. doi:10.37614/2949-1215.2025.16.2.025.

Original article

ORGANOSILICATE COATINGS WITH LOW DIRT RETENTION TO IMPROVE THE RADIATION ENVIRONMENT

Svetlana V. Chuppina

Gradiation, Saint Petersburg, Russia, tchoup@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-1327-2748>

Abstract

The article presents the results of the influence of the curing agent polymethyl(dimethyl)siloxysilazane on the properties of the organosilicate composition OS-51-03 green and the coatings formed from this composition. The properties of the coatings with the experimental hardener are compared with the properties of the coatings formed by the "hot drying" method, as well as in the presence of commercial hardeners AGM-3, AGM-9 and MSN-7, in terms of physical, mechanical, decorative, protective and electrical insulation properties, hydrophobicity and vapor permeability coefficients. It is shown that the use of polymethyl(dimethyl)siloxysilazane as a hardener is more technologically advanced than the use of the MSN-7 product, and allows improving the range of properties of the organosilicate coating OS-51-03.

Keywords:

1-aminohexamethylene-6-aminomethylenetriethoxysilane, aminopropyltriethoxysilanes, hydrophobicity, pot life of multicomponent systems with a hardener, vapor permeability coefficients, paint materials, organosilicate coatings, polyorganosiloxanes, polymethyl(dimethyl)silazane, heat resistance, electrical insulation properties

Funding:

Organization funds.

For citation:

Chuppina S. V. Organosilicate coatings with low dirt retention to improve the radiation environment // Transactions of the Kola Science Centre of RAS. Series: Engineering Sciences. 2025. Vol. 16, No. 2. P. 150–155. doi:10.37614/2949-1215.2025.16.2.025.

Введение

Большинство атмосферостойких и специальных органосиликатных (ОС) покрытий (Пк) [1], содержащих в своем составе полиорганосилоксановые (ПОС) связующие, слоистые гидросиликаты,

оксиды и соли металлов, устойчивы к действию излучения; могут быть отнесены к градиентным поверхностно-функциональным материалам, обладают низким грязеудержанием, некоторые из них проявляют способность к дезактивации, отвечают требованиям ГОСТ 51102-97 [2].

Многолетние исследования показали [1–7], что лучшей дезактивируемостью обладают ОСПк на основе немодифицированного полидиметилфенилсилоксана (ПДМФС) со следующей брутто-формулой: $[(\text{CH}_3)_2\text{SiO})_{1,0}(\text{C}_6\text{H}_5\text{SiO}_{1,5})_{1,25}]_n$. В этом полимере соотношение диметильных звеньев, ответственных за высокую гидрофобность и низкое грязеудержание, и фенилсесквиоксановых звеньев, отвечающих за стойкость к действию высоких температур, радиации и агрессивных сред, оказалось оптимальным для радиационно стойких дезактивируемых ОСПк. Пленки из этого полимера при грамотном выборе схем отверждения обладают высокой отмываемостью, остаточная активность составляет 1–3 %. Градиентная структура радиационно стойких дезактивируемых ОСПк задается количественным соотношением пленкообразователь : наполнители и оптимальным составом силикатных и оксидных компонентов [3; 4].

Механизм взаимодействия ОСПк с излучениями определяется, главным образом, типом замещающих групп у атома кремния в пленкообразователе. Полимеры, содержащие метильные группы, сравнительно легко разрушаются при облучении, в то время как полимеры, содержащие фенильные группы, значительно более устойчивы к действию данного фактора, их стабильность увеличивается с количеством фенильных групп.

Степень действия излучения пропорциональна полученной дозе; также определяется, хотя и в несколько меньшей мере, типом излучения (его относительной энергией, проникающей способностью), видом используемых пигментов и наполнителей, степенью кристалличности (физическим состоянием) пленкообразователя, присутствием кислорода и влаги, температурой.

Многие реакции, характерные для органического вещества при облучении, имеют место и при облучении ПОС: выделение газов, разрыв цепи, образование поперечных связей и разветвлений.

При облучении ПОС преобладает не разрыв цепей (предпочтительно будут рваться наиболее слабые связи), а процесс сшивания и увеличение молекулярной массы полимеров [5].

Определяющим при этом является химический состав компонентов, отдельные функциональные группы которых могут либо ускорять, либо замедлять процесс радиолитического разложения, играя при этом роль сенсibilизирующих или антирадных добавок. Одной из таких групп в случае радиационно стойких ОСПк является фенильная, которая благодаря своему строению рассеивает энергию, а также, являясь объемной группой, экранирует основную цепь, уменьшая тем самым разрушающее действие излучения [3–5; 7; 8]. Противоположное действие оказывают полярные группы, такие как amino-, хлор-, гидроксильные группы, что накладывает некоторые ограничения, например [5]: 1) на использование хлорированных ПОС [3; 9–11] в качестве пленкообразователей ОСПк радиационно стойкого назначения; 2) на использование высоких концентраций органотриэтоксисиланов с аминогруппами в углеводородном радикале в качестве отвердителей; 3) на выбор температурно-временных режимов отверждения, обуславливающих содержание остаточных концевых силанольных групп в пленкообразователях.

Самая слабая связь в полидиметилсилоксановых фрагментах макроцепей пленкообразователей ОСПк, связь C–Si, разрывается раньше силоксановой связи. Сшивание преобладает над разрывом цепи, и в выделяющихся газах обнаруживают (масс-спектрометрически или методом ЭПР) метан и этан наряду с водородом. В результате облучения образуются радикалы, которые могут соединяться различными способами. Оставшиеся активные участки могут образовывать поперечные связи. Структурные преобразования пленкообразующей основы при воздействии эксплуатационных факторов вызывают изменения свойств Пк.

Присутствие пластификатора в рецептуре ОСПк оказывает существенное влияние на процессы их радиолитического разложения. Радиационная стойкость самого пластификатора и влияние его структуры на скорость протекания процессов радиолитического разложения в пленкообразующей полимерной основе являются определяющими в оценке степени влияния пластифицирующей добавки на радиационную стойкость Пк. Как правило, кремнийорганические (КО) лаки и смолы, модифицированные органическими смолами, в рецептурах радиационно стойких дезактивируемых ОСПк не используются [3–5].

Минеральные пигменты и наполнители, используемые в рецептурах ОС материалов, обычно отличаются более высокой радиационной стойкостью, чем КО пленкообразователи. Влияние пигментов

и красителей, а также силикатных наполнителей на поведение полимерматричных Пк в условиях воздействия радиации достаточно хорошо известно [12].

Для формирования радиационно стойкой полимерной матрицы, способной к дезактивации, помимо пленкообразователя, значимым моментом является выбор оптимального отверждающего агента. Достаточно весьма незначительных качественных или количественных изменений в составе отдельных слоев пленки, чтобы резко изменить характер поведения материала под действием облучения. Хорошо известно влияние режимов отверждения на комплекс свойств ОСПк, в том числе на адсорбционно-физические свойства градиентных ОСПк [7; 13].

Ионизирующие излучения вызывают, как правило, постепенное ухудшение исходных характеристик ОС материалов. Однако на промежуточных стадиях облучения при воздействии сравнительно малых поглощенных доз возможно и некоторое улучшение свойств, обусловленное структурно-химическими превращениями в пленкообразующих материалах [5].

Отрицательные эффекты воздействия радиации на ОСПк внешне могут проявляться в виде [5; 6; 14]: 1) ухудшения внешнего вида материалов в результате их осветления, потемнения или любого другого изменения цвета, появления пятнистости при неравномерном облучении, а также при различиях свойств ОС материалов на разных участках поверхности; 2) потери покрытиями блеска вследствие протекания радиационно-окислительных процессов на их поверхности или возникновения микродефектов; 3) появления мелких пузырей и вспучивания в результате выделения из толщи пленки жидких и газообразных продуктов радиолитического разложения; 4) увеличения проницаемости как следствия появления пористости, вызванной выделением газов и низкомолекулярных продуктов разложения КО части ОСПк; 5) появления сетки трещин и морщин в результате сшивания и усадки полимерной основы ОСПк; 6) отслаивания и шелушения вследствие возникновения внутренних напряжений в материале и ослабления сил сцепления его с подложкой; 7) размягчения и появления липкого слоя на поверхности ОСПк при протекании процессов деструкции и окисления под воздействием радиации.

Целью данной работы являлось изучение влияния ряда отверждающих агентов на комплекс характеристических технических свойств органосиликатных покрытий, сформированных из композиции ОС-51-03 зеленой (ТУ 84-725-78 с изм. 1-10) [15].

Результаты

Значения показателей характеристических технических свойств для ОСПк, сформированных из ОС композиции (ОСК) ОС-51-03 зеленой классического состава при различных режимах отверждения, представлены в таблице.

В качестве отвердителей были использованы следующие коммерческие продукты: 1) АГМ-3 (ТУ 6-02-586-86), 1-аминогексаметилен-6-аминометилтриэтоксисилан, в количестве 0,4 мас. % в виде 5 %-го раствора в толуоле; 2) АГМ-9 (ТУ 6-02-724-77), γ -аминопропилтриэтоксисилан в смеси с β -аминопропилтриэтоксисилоном, в количестве 0,5 мас. % в виде 20 %-го раствора в толуоле; 3) МСН-7-50 (ТУ 6-02-991-75), полиметил(диметил)силазан, в количестве 5,0 мас. % в виде 10 %-го раствора в толуоле.

Также был использован полиметил(диметил)силоксисилазан (ПОССз) с функциональными силанольными и этоксильными группами, содержащий в своей структуре наряду со связями Si–N связи Si–O, синтезированный с учетом рекомендаций патента [16]. Экспериментальный отвердитель вводили в предварительно разбавленную толуолом ОСК (до вязкости 18–25 с) в количестве 5,0 мас. % в виде 10 %-го раствора в толуоле, покрытия наносили методом пневматического распыления.

В основе технологии получения ПОССз используется модифицированный процесс аммонолиза органохлорсиланов, который включает дополнительные операции частичной этерификации и частичного гидролиза реагентов. В результате образования органохлоралкоксисиланов процесс гидролиза и аммонолиза становится более управляемым, не столь стремительным, как в случае органохлорсиланов, так как образовавшиеся полупродукты менее активны в последующих реакциях частичного гидролиза и аммонолиза (поскольку хлоралкоксисиланы реагируют с аммиаком с образованием аминокалкоксисиланов, так как алкоксигруппа не замещается). Эти дополнительные операции позволяют получить конечный продукт с улучшенным комплексом свойств как следствие ограниченного образования циклических соединений и образования структур с более высокой молекулярной массой.

Влияние режимов формирования на основные свойства ОСПк ОС-51-03

Показатель	Значение показателя для различных режимов формирования покрытий				
	Горячая сушка, 200 °С	АГМ-3, 0,4 % мас., М (15–35 °С) 45–75 %	АГМ-9, 0,5 % мас., М (15–35 °С) 45–75 %	МСН-7, 5 % мас., М (15–35 °С) 45–75 %	ПОС-3, 5 % мас., М (15–35 °С) 45–75 %
Живучесть ОСК, ч, не менее	+	24	24	0,5–1	6–8
Способность ОСК наноситься на поверхность		Хорошо растекается и выравнивает свой поверхностный слой			
Время высыхания до ст. 3, ч, не более, при толщине Пк 0,18–0,20 мм	Не определяли	48	24	24	24
Внешний вид Пк	После отверждения	После отверждения покрытие однородно, без механических включений, пузырей, кратеров и трещин			
Блеск по блескометру ФБ-2	52	50	54	57	61
Адгезия Пк по методу решетчатых надрезов, балл, не более	1	1–2	1–2	1–2	1
Твердость по прибору М-3, усл. ед., не менее	0,5–0,6	0,3–0,4	0,5–0,6	0,6–0,7	0,6–0,7
Прочность при ударе по прибору У-1, кгс·см, не менее	30–40	30–40	30–40	30–40	40–50
Теплостойкость Пк, °С	350–400	250–300	300	250–300	350–400
Удельное объемное электрическое сопротивление Пк, Ом·см, не менее					
при 20 °С	$6,1 \times 10^{15}$	$4,6 \times 10^{13}$	$4,1 \times 10^{14}$	$8,4 \times 10^{15}$	$9,1 \times 10^{15}$
при 200 °С	$8,0 \times 10^{14}$	$2,9 \times 10^{14}$	$9,2 \times 10^{14}$	$9,7 \times 10^{14}$	$7,7 \times 10^{14}$
при 400 °С	$5,8 \times 10^{10}$	$1,2 \times 10^9$	$3,4 \times 10^9$	$1,1 \times 10^{10}$	$3,5 \times 10^{11}$
после выдержки при 20 °С при относительной влажности 95–98 %, 24 ч, не менее	$1,0 \times 10^{12}$	$2,3 \times 10^{11}$	$7,1 \times 10^{12}$	$5,5 \times 10^{13}$	$9,4 \times 10^{13}$
Электрическая прочность, Е _{пр} , кВ/мм, не менее	30	20	25	40	45
Угол смачивания водой, град.	$92,1 \pm 0,5$	$91,7 \pm 1,2$	$90,5 \pm 1,4$	$89,2 \pm 2,0$	$91,2 \pm 0,3$
Коэффициент паропроницаемости, Р, г/см·ч, пленок Пк в интервале температур (5–60) °С по методу сухого стаканчика	$(0,18–0,22) \times 10^{-5}$	$(0,2–0,6) \times 10^{-5}$	Не определяли	$(0,14–0,20) \times 10^{-5}$	$(0,14–0,22) \times 10^{-5}$
Стойкость к статическому воздействию 3 %-го водного раствора NaCl	Оценка внешнего вида через 1 500 ч А32–А33	Оценка внешнего вида через 540 ч А34	Оценка* внешнего вида через 720 ч А33	Оценка* внешнего вида через 1 500 ч А32	Оценка* внешнего вида через 1 500 ч А32

* Используются ОСПк ОС-51-03 толщиной 0,15–0,18 мм с последующим покрытием слоем лака КО-921 с введенным отвердителем. Общая толщина Пк (ОС-51-03 + КО-921) 0,19–0,23 мм. Подложка Ст. 3.

Как видно из таблицы, применение ПОССз позволяет провести отверждение ОСПк в более комфортном режиме, чем в случае использования полновесных полиорганосилазанов: полиорганосилоксисилазановый компонент трансформируется в полисилоксановый несколько медленнее, чем МСН-7, жизнеспособность ОСК с введенным отвердителем ПОССз вполне достаточная, малярно-технические свойства ОСК удовлетворительны, что делает эти продукты привлекательными для практического применения. В целом можно говорить и об улучшении комплекса свойств ОСПк ОС-51-03 при использовании в качестве отвердителя ПОССз.

Выводы

Синтезирован продукт, близкий аналог промышленному полиорганосилазану МСН-7-50, — полиметил(диметил)силоксисилазан с функциональными силанольными и этоксильными группами, содержащий наряду со связями Si–N связи Si–O.

Изучены свойства органосиликатной композиции ОС-51-03 зеленой с использованием синтезированного продукта ПОССз в качестве отверждающего агента, а также покрытия, сформированные из этой композиции, охарактеризованы по физико-механическим, декоративным, защитным, электроизоляционным показателям, углам смачивания и коэффициентам паропроницаемости.

Проведено сравнение свойств покрытий с экспериментальным отвердителем со свойствами покрытий, сформированных методом «горячей сушки», а также в присутствии коммерческих отвердителей АГМ-3, АГМ-9 и МСН-7.

Показано, что использование полиметил(диметил)силоксисилазана позволяет улучшить малярно-технологические свойства органосиликатной композиции ОС-51-03, получить органосиликатные покрытия с улучшенным комплексом физико-механических декоративных, защитных и электроизоляционных свойств.

Список источников

1. Харитонов Н. П., Кротиков В. А., Островский В. В. Органосиликатные композиции. Каталог-справочник. Л.: Наука, 1980. 91 с.
2. ГОСТ 51102-97. Покрытия полимерные защитные дезактивируемые. Общие технические требования. М., 1997. 11 р.
3. Чуппина С. В. Физико-химические закономерности формирования и деградации органосиликатных покрытий в системах полиорганосилоксан-силикат-оксид: дис. ... д-ра хим. наук. СПб.: ИХС РАН, 2009. 390 с.
4. Чуппина С. В., Жабров В. А. Органосиликатные радиационностойкие дезактивируемые покрытия // Физикохимия поверхности и защита материалов. 2013. Т. 49, № 3. С. 333–336.
5. Чуппина С. В., Жабров В. А. Органосиликатные материалы. СПб.: Изд-во «Литео», 2016. 182 с.
6. Стойкость органосиликатного покрытия ОС-51-03 в аварийных режимах эксплуатации АЭС с реакторами ВВЭР-1000 / Н. И. Амелогова, С. М. Башилов, И. Г. Березина, В. Г. Крицкий, В. А. Жабров, С. В. Чуппина, В. А. Кротиков, Л. Н. Красильникова // Применение органосиликатных материалов и покрытий: научно-практический семинар: программа и тезисы докладов. СПб., 2002. С. 17–19.
7. Глушкова Н. Е., Кротиков В. А., Красильникова Л. Н., Федорова Г. Т. Использование полиорганосилазанов в качестве отвердителей органосиликатных покрытий // Новое в сушке лакокрасочных покрытий. Л.: Об-во «Знание», 1990. С. 41–46.
8. Радиационная химия макромолекул / ред. М. Доул ; пер с англ. под ред. Э. Э. Финкеля. М.: Атомиздат, 1978. 328 с.
9. Патент СССР, Кл. С 09 D 183/08, 5/08. Композиция для антикоррозионного покрытия / Панкратова Е. Т., Чуппина С. В. № 1808000; 1993, № 13. С. 220.
10. Патент РФ, Кл. С 09 D 183/08, 5/08. Композиция для антикоррозионного покрытия / Панкратова Е. Т., Чуппина С. В. № 2041906; 1995, № 23. С. 177.
11. Чуппина С. В. Синтез хлорированных полиорганосилоксанов как связующих температуростойчивых защитных покрытий: автореф. дис. ... канд. хим. наук. СПб.: ИХС РАН, 2000. 24 с.
12. Князев В. К. Радиационная стойкость лакокрасочных покрытий. М.: Атомиздат, 1971. 181 с.
13. Чуппина С. В., Жабров В. А. Изменение энергетических характеристик поверхности органосиликатных покрытий в процессе формирования // Физ. и хим. стекла. 2007. Т. 33, № 6. С. 872–883.
14. Исследование поведения покрытия контейнента на основе органосиликатной композиции ОС-51-03 при тяжелых авариях на АЭС / А. А. Фиськов, В. Г. Крицкий, А. Ю. Макасеев, Ю. Н. Макасеев, В. М. Погребенков // Технологии обеспечения жизненного цикла ядерных энергетических установок. 2018. № 2. С. 66–74.
15. ТУ 84-725-78 с изм. 1-10. Технические условия. Композиции органосиликатные. Введ. 1978–04–01. 37 с.

16. А. с. 539909 СССР, Кл. C08G77/54. Способ получения полиорганосилоксисилазанов / Жинкин Д. Я., Семенова Е. А., Маркова Н. В.; 1976; опубл. 25.12.1976.

References

1. Kharitonov N. P., Krotikov V. A., Ostrovskii V. V. *Organosilikatnye kompozitsii. Katalog-spravochnik* [Organosilicon Composites: Catalog and Handbook]. Leningrad, Nauka, 1980, 91 p. (In Russ.).
2. GOST 51102-97. *Pokrytiya polimernye zashchitnye deaktiviruyemye. Obshchie tekhnicheskie trebovaniya* [Decontaminable protective polymeric coatings. General technical requirements]. Moscow, 1997, 11 p. (In Russ.).
3. Chuppina S. V. *Fiziko-himicheskie zakonomernosti formirovaniya i degradatsii organosilikatnykh pokrytij v sistemah poliorganosiloksan-silikat-oksid: dis. ... d-ra chem. nauk* [Physicochemical regularities of formation and degradation of organosilicate coatings in polyorganosiloxane-silicate-oxide systems. DSc (Chemistry) thesis]. Saint Petersburg, 2009, 390 p.
4. Chuppina S. V., Zhabrev V. A. Organosilicate Radiation-resistant Deactivatable Protective Coatings. *Prot. Met. Phys. Chem. Surf.*, 2013, Vol. 49, No. 3, pp. 344–347.
5. Chuppina S. V., Zhabrev V. A. *Organosilikatnye materialy* [Organosilicate Materials]. Saint Petersburg, Liteo, 2016, 182 p. (In Russ.).
6. Ampelogova N. I., Bashilov S. M., Berezina I. G., Kritsky V. G., Zhabrev V. A., Chuppina S. V., Krotikov V. A., Krasilnikova L. N. Stojkost' organosilikatnogo pokrytiya OS-51-03 v avarijnykh rezhimakh ekspluatatsii AES s reaktorami VVER-1000 [Durability of organosilicate coating OS-51-03 in emergency modes of operation of NPPs with WWER-1000 reactors]. *Primenenie organosilikatnykh materialov i pokrytij: nauchno-prakticheskij seminar: programma i tezisy dokladov* [Application of organosilicate materials and coatings: scientific and practical seminar: program and reports thesis]. Saint Petersburg, 2002, pp. 17–19. (In Russ.).
7. Glushkova N. E., Krotikov V. A., Krasilnikova L. N., Fedorova G. T. Ispol'zovanie poliorganosilazanov v kachestve otverдитеlej organosilikatnykh pokrytij [Use of polyorganosilazanes as hardeners for organosilicate coatings]. *Novoe v sushke lakokrasochnykh pokrytij* [New in drying paint and varnish coatings]. Leningrad, Knowledge Society, 1990, pp. 41–46. (In Russ.).
8. *Radiatsionnaya himiya makromolekul* [The Radiation Chemistry of Macromolecules]. Moscow, Atomizdat, 1978, 328 p. (In Russ.).
9. Pankratova E. T., Chuppina S. V. Composition for Corrosion-Resistant Coating, USSR Patent 1808000, 1993. Publ. 07.04.93.
10. Pankratova E. T., Chuppina S. V. Composition for Corrosion-Resistant Coating, RF Patent 2041906, 1995. Publ. 20.08.95.
11. Chuppina S. V. *Sintez hlorirovannykh poliorganosiloksanov kak svyazuyushchih temperaturoustojchivykh zashchitnykh pokrytij: avtoref. dis. ... kand. him. nauk* [Synthesis of Chlorinated Polyorganosiloxanes as Binders for Heat-Resistant Protective Coatings. PhD (Chemistry) thesis]. Saint Petersburg, 2000, 24 p.
12. Knyazev V. K. *Radiatsionnaya stoikost' lakokrasochnykh pokrytij* [Radiation Resistance of Paint Coatings]. Moscow, Atomizdat, 1971, 181 p. (In Russ.).
13. Chuppina S. V., Zhabrev V. A. Changes in the energy characteristics of the surface of organosilicate coatings in the course of formation. *Glass Physics and Chemistry*, 2007, Vol. 33, No 6, pp. 636–645.
14. Fiskov A. A., Kritsky V. G., Makaseev A. Yu., Makaseev Yu. N., Pogrebenkov V. M. Issledovanie povedeniya pokrytiya kontejnmenta na osnove organosilikatnoj kompozicii OS-51-03 pri tyazhelykh avariyakh na AES [Study of the behavior of the containment coating based on the organosilicate composition OS-51-03 during severe accidents at NPPs]. *Tekhnologii obespecheniya zhiznennogo cikla yadernykh energeticheskikh ustanovok* [Technologies for ensuring the life cycle of nuclear power plants], 2018, No. 2, pp. 66–74. (In Russ.).
15. TU (Specifications) 84-725-78. Tekhnicheskie usloviya. Kompozicii organosilikatnye [Technical specifications. Organosilicate Composites], 1978.
16. Zhinkin D. Ya., Semenova E. A., Markova N. V. Method for producing polyorganosiloxysilazane A. s. USSR 539909. Cl. C08G77/54. 1976. Publ. 12.25.76.

Информация об авторе

С. В. Чуппина — доктор химических наук, доцент, научный консультант.

Information about the author

S. V. Chuppina — DSc (Chemistry), Associate Professor, Scientific Consultant.

Статья поступила в редакцию 18.08.2025; одобрена после рецензирования 08.09.2025; принята к публикации 22.09.2025.
The article was submitted 18.08.2025; approved after reviewing 08.09.2025; accepted for publication 22.09.2025.