

19. Москвичева Е. В. Сточные воды автотранспорта на строительных площадках / Е. В. Москвичева, О. П. Радченко, Д. П. Ключков // Технологии очистки воды «ТЕХНОВОД-2023»: материалы XIV Международной научно-практической конференции; г. Кисловодск, 18–21 апреля 2023 г. / ред. колл.: Л. Н. Фесенко и др. – Новочеркасск: Юж.-Рос. гос. политехн. ун-т (НПИ) им. М. И. Платова, 2023. – С. 50–54.
20. Громогласов А. А. Водоподготовка: процессы и аппараты / А. А. Громогласов и др. – Москва: Энергоатомиздат, 1990. – 272 с.
21. Москвичева А. В. Некоторые аспекты применения цеолита для доочистки сточных вод от ионов металлов / А. В. Москвичева, Е. В. Москвичева, А. В. Щербаков, Л. В. Олефиренко, О. П. Радченко, Л. В. Боронина // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2019. – № 1 (27). – С. 33–37.
22. Рекунов С. С. Численное моделирование фильтрационной устойчивости грунтовых переемычек плотин / С. С. Рекунов, Н. В. Купчикова, И. В. Федосюк // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2024. – № 3 (49). – С. 65–73.
23. Иванкова М. А. Отечественный опыт определения потребности в инженерной инфраструктуре при градостроительном развитии территорий / М. А. Иванкова, Т. В. Костюченко, Д. И. Саттарова, Э. Г. Мартиросов // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2024. – № 4 (50). – С. 65–70.

© О. П. Радченко, А. А. Добринская, С. Ю. Теплых

#### Ссылка для цитирования:

Радченко О. П., Добринская А. А., Теплых С. Ю. Использование трехполочного адсорбера для оборотного водоснабжения // Инженерно-строительный вестник Прикаспия: научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань: ГБОУ АО ВО «АГАСУ», 2025. № 4 (54). С. 24–29.

УДК 614.84

DOI 10.52684/2312-3702-2025-54-4-29-35

### ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЯ ДЫМООБРАЗУЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ НАПОЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ ПВХ

*С. А. Ермаков, Д. И. Кабиров, Е. А. Коцуба*

**Ермаков Станислав Александрович**, старший преподаватель кафедры комплексной безопасности в строительстве, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Российская Федерация, тел.: + 7 (905) 529-82-14; e-mail: ErmakovSA@mgsu.ru;

**Кабиров Динар Ильдарович**, студент, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Российская Федерация, тел.: + 7 (965) 646-00-51; e-mail: dinarkabir@vk.com;

**Коцуба Евгений Александрович**, студент, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Российская Федерация, тел.: + 7 (917) 587-45-75; e-mail: evgeniy20kotsuba@gmail.com

В статье рассматривается оценка неопределенности показателя дымообразования некоторых напольных покрытий ПВХ. Высокая расширенная неопределенность влечет за собой неоднозначность отнесения строительного материала к конкретной группе дымообразующей способности, что может вызвать ошибки выбора материалов в случае повышенных требований к пожарной безопасности, в том числе в зданиях с массовым пребыванием людей и на социально значимых объектах. Применена методика оценки неопределенности измерений согласно ГОСТ 34100.3-2017. Расчеты расширенной неопределенности в исследовании существенно отличаются от полученных в испытательной лаборатории Института комплексной безопасности в строительстве Национального исследовательского Московского государственного строительного университета. Два напольных покрытия ПВХ определены в группу дымообразующей способности ДЗ, три – в Д2, что соответствует результатам лаборатории.

**Ключевые слова:** поливинилхлорид; напольные покрытия; пожароопасные свойства; коэффициент дымообразования; оценка неопределенности; косвенные измерения

### EVALUATION OF THE SMOKE-FORMING CAPACITY OF PVC FLOOR COVERINGS

*S. A. Yermakov, D. I. Kabirov, Ye. A. Kotsuba*

**Yermakov Stanislav Aleksandrovich**, Senior Lecturer of Integrated Safety in Construction Department, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow, Russian Federation, phone: + 7 (905) 529-82-14; e-mail: ErmakovSA@mgsu.ru;

**Kabirov Dinar Ildarovich**, Student, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow, Russian Federation, phone: + 7 (965) 646-00-51; e-mail: dinarkabir@vk.com;

**Kotsuba Yevgeny Aleksandrovich**, Student, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow, Russian Federation, phone: + 7 (917) 587-45-75; e-mail: evgeniy20kotsuba@gmail.com

The article considers an assessment of the uncertainty of the smoke formation index of some PVC floor coverings. High extended uncertainty entails ambiguity in assigning building materials to a specific group of smoke-forming properties, which can lead to errors in the choice of materials in the case of increased fire safety requirements, including

buildings with a large number of people and socially significant facilities. The method for estimating measurement uncertainty according to GOST 34100.3-2017 has been applied. The calculations of the extended in the study differ significantly from those obtained in the testing laboratory of the Institute of Integrated Safety in Construction of the Moscow State University of Civil Engineering (National Research University). Two PVC floor coverings were identified in the smoke generation group D3, three to D2, which corresponds to the laboratory results.

**Keywords:** polyvinyl chloride; floor coverings; fire-hazardous properties; smoke generation coefficient; indirect measurements; estimated uncertainty.

### Введение (Introduction)

При возгорании в помещении напольные покрытия, находящиеся в зонах с относительно невысокой температурой, воспламеняются в последнюю очередь. Под воздействием высоких температур происходит термическое разложение материалов, сопровождающееся активным выделением токсичных газов и дыма. Знание характеристик пожарной опасности различных напольных покрытий позволяет выбирать наиболее устойчивые к возгоранию строительные материалы и прогнозировать распространение дыма по эвакуационным путям при пожаре [1].

Преимущества использования напольных покрытий ПВХ по сравнению с другими строительными материалами состоят в высокой механической прочности, отсутствии деформации при ударе, износостойкости, а к недостаткам можно отнести то, что поливинилхлоридные покрытия боются действия растворителей [2]. Сравнительный анализ потребления энергии тремя типами полимеров, а именно поливинилхлоридом, полиэтиленом и полипропиленом, показал, что ПВХ потребляет больше энергии и выбрасывает больше парниковых газов [3]. Уровень качества напольных покрытий можно оценить по разработанной методике квалитетической оценки [4].

Непосредственной причиной более 80% всех смертельных случаев во время пожаров являются опасности, возникающие из-за наличия дыма [5].

Показатели оценки дымообразующей способности материалов напольных покрытий в различных странах приведены в публикации [6]. В некоторых источниках иностранных авторов при оценке пожарных рисков зданий дымообразующую способность не рассматривают как таковую, а только химический состав (А), термическую деградацию (В), калориметрию (С), воспламеняемость (D), поведение при горении (Е) и распространение пламени (F) [7]. В США к основным показателям для оценки дымообразующей способности материалов для напольных покрытий ПВХ включают плотность дыма, измеряемую стандартом ASTM E662 [8], токсичность дыма (ISO 5659-2), температуру воспламенения и индекс (скорость) распространения пламени (ASTM E84).

В Республике Беларусь так же, как и в Российской Федерации, в качестве показателя пожарной опасности строительных материалов, определяющих их дымообразующую способность, применяется коэффициент дымообразования  $D_m$  [9, 10].

Вопрос о том, насколько концепция неопределенности улучшила решение проблем точности измерений, некоторое время оставался открытым. Критический анализ данной концепции, представленный в работе [11], показал, что она не привела к существенному прогрессу в оценке качества измерений. Несмотря на заявленные цели, организации продолжали придерживаться традиционного подхода, основанного на теории погрешностей. Однако испытательные лаборатории используют подход, основанный на оценке неопределенности [12, 13]. В работах [14–16] применяют именно такую методику.

Целью данного исследования являлась оценка неопределенности для косвенных и прямых измерений с целью отнесения напольных покрытий ПВХ к группе дымообразующей способности.

В соответствии с целью были поставлены задачи:

- обработать результаты испытаний с учетом их точности и достоверности по ГОСТ 34100.3-2017 «Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерения»;
- сравнить произведенные расчеты оценки неопределенности с результатами, предоставленными Институтом комплексной безопасности в строительстве НИУ МГСУ;
- определить группу дымообразующей способности напольных покрытий ПВХ.

### Метод (Methods)

Были исследованы следующие строительные материалы – напольные покрытия, характеристики пожарной опасности которых представлены в таблице 1.

Для проведения испытаний были подготовлены 15 образцов размером (40 × 40) мм, фактической толщины (3,5 мм). Образцы перед испытаниями выдерживались при температуре (20±2) °С в течение 48 ч, затем определялась начальная масса образцов. Европейская методика испытаний находится в рекомендациях стандарта EN ISO 5659-2 [17]. В частности, в ней предлагается производить испытания с использованием образцов размером (75 × 75) мм и максимальной толщиной (25 мм), как и было выполнено в исследовании [18].

Образцы испытывались в двух режимах – тления и горения. Оптическая плотность дыма в испытательной камере контролировалась по величине фототока фотодиода. Перед испытанием

фиксировалось среднее значение фототока фото диода, которое принималось за исходное значение светопропускания (100 %). Испытание продолжалось до тех пор, пока фототок фото диода

не достигал минимального значения (конечное светопропускание).

Таблица 1

**Характеристики пожарной опасности некоторых напольных покрытий**

№ п/п	Напольные покрытия	Характеристика пожарной опасности			
		Воспламеняемость	Группа распространения пламени	Дымообразующая способность	Токсичность продуктов горения
	1	2	3	4	5
1.	Коврики тафтинговые из полипропиленовых волокон (нитей) на подложке из ПВХ 900 × 1500 × 6 мм	B3	РП4	Д3	T2
2.	Коврики тафтинговые из полипропиленовых волокон (нитей) на подложке из ПВХ 900 × 1200 × 6 мм	B3	РП4	Д3	T2
3.	Коврики с верхом из синтетических (полиэфирных) волокон (нитей) на подложке из ПВХ 800 × 1200 × 6 мм	B2	РП1	Д2	T1
4.	Плитка ПВХ (ПВХ 27 %, CaCO <sub>3</sub> 54 %) 914 × 153 × 2,05 мм	B2	РП2	Д2	T1
5.	Плиты для фальшпола на основе сульфата кальция, плотностью 1730 кг/м	B2	РП2	Д2	T1

По результатам каждого опыта вычислялся коэффициент дымообразования  $D_m$ , м<sup>2</sup>/кг, по формуле:

$$D_m = \frac{V}{(L \cdot m)} \cdot \ln \frac{I_0}{I_{\min}}, \quad (1)$$

где  $V$  – вместимость камеры измерений, м<sup>3</sup> ( $V = 0,512$  м<sup>3</sup>);  $L$  – длина пути луча света в задымленной среде, м ( $L = 0,788$  м);  $m$  – начальная масса образца, кг;  $I_0, I_{\min}$  – соответственно значения начального (100 %) и конечного светопропускания, %.

Для каждого режима испытания определялся коэффициент дымообразования  $D_m$ , вычисленный по средним арифметическим начальной массы образца  $m$  и конечного светопропускания по результатам  $I_{\min}$  пяти испытаний.

Существуют математические модели дымообразования при тлении напольных покрытий, основанные, например, на планировании эксперимента в факторном пространстве [19, 20]. Но остановимся на модели оценки дымообразующей способности напольных покрытий из ПВХ, которая основана на результатах проведенных экспериментов в Институте комплексной безопасности в строительстве Национального исследовательского Московского государственного строительного университета (ИКБС НИУ МГСУ). При этом выполнены косвенные измерения, учитывающие нелинейные зависимости и некоррелированные ошибки в измерениях. Для обработки этих данных применяется метод линеаризации, суть которого

заключается в разложении нелинейной функции в ряд Тейлора:

$$f(D_m) = f(L, V, m, I_0, I_{\min}) + \sum_{i=1}^m \frac{\partial f}{\partial a_i} \Delta a_i + R, \quad (2)$$

где  $f(D_m)$  – нелинейная функциональная зависимость между измеряемой величиной и измеряемыми аргументами  $a_i$ ;  $\frac{\partial f}{\partial a_i}$  – первая производная от функции  $f$  по аргументу  $a_i$ ;  $\Delta a_i$  – измеренное отклонение результата аргумента  $a_i$  от его среднего арифметического;  $R = \frac{V}{L \cdot m^2 \cdot I_{\min}} \Delta m \cdot \Delta I_{\min} < 0,8S(A)$  – остаточный член.

Вычисление дымообразующей способности напольных панелей ПВХ при тлении (м<sup>2</sup>/кг):

$$D_m = \frac{V}{(L \cdot \bar{m})} \cdot \ln \frac{I_0}{I_{\min}} = 979,84 \frac{\text{м}^2}{\text{кг}},$$

а при горении:

$$D_m = 489,37 \frac{\text{м}^2}{\text{кг}}.$$

Среднее квадратическое отклонение случайной погрешности вычислять по формуле (неопределенность по типу А):

$$u_A(x) = S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}}, \quad (3)$$

где  $x_i$  – отдельный результат измерений;  $\bar{x}$  – среднее значение результата измерений;  $n$  – количество измерений;  $S_{\bar{x}}$  – выборочное стандартное отклонение среднего значения.

Стандартная неопределенность по типу А для массы напольных панелей ПВХ при тлении:

$$u_A(m) = 0,00825 \text{ г}; \quad \bar{m} = 1,232 \text{ г}.$$

Стандартная неопределенность по типу А для светопропускания ( $I_{min}$ ) при тлении:

$$u_A(I_{min})=0,3464 \%; \bar{I}_{min}=15,6 \%/$$

Стандартная неопределенность по типу А для массы напольных панелей ПВХ при горении:

$$u_A(m)=0,0529 \text{ г}; \bar{m}=4,57 \text{ г}.$$

Стандартная неопределенность по типу А для светопропускания при горении:

$$u_A(I_{min})=0,283 \%; \bar{I}_{min}=3,2 \%.$$

Стандартная неопределенность по типу В определяется на основе результатов погрешности следующих средств измерения: весов лабораторных электронных типа НР и измерителя многофункционального цифрового ДН96. Стандартная неопределенность по типу В для массы напольных панелей ПВХ при тлении и горении определялась как:

$$u_B=u_B(m)=0,0006 \text{ г},$$

где  $u_B(m)$  – погрешность весов электронного типа НР.

Стандартная неопределенность по типу В для светопропускания при тлении и горении определялась как

$$u_B=u_B(\bar{I}_{min})=0,2 \%,$$

где  $u_B(m)$  – погрешность измерителя цифрового ДН96.

В соответствии с показателем дымообразования, который определен с помощью косвенных измерений при нелинейной зависимости, суммарная стандартная неопределенность  $u_{cA}(y)$  [5] вычисляется по формуле:

$$u_{cA}=\sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial f}{\partial x_i}\right)^2 * u^2(x_i)}, \quad (4)$$

где  $u(x_i)$  – стандартная неопределенность входной величины, оцененная по типу А;  $\frac{\partial f}{\partial x_i}$  – частные производные входных величин.

Суммарная стандартная неопределенность по типу А для дымообразующей способности при тлении:

$$u_{cA}(D_m)=0,01342 \frac{\text{м}^2}{\text{кг}},$$

а при горении:

$$u_{cA}(D_m)=0,01379 \frac{\text{м}^2}{\text{кг}}.$$

В соответствии с показателем дымообразования, который определен с помощью косвенных измерений при нелинейной зависимости, суммарная стандартная неопределенность  $u_{cB}(y)$  [5] вычисляется по формуле:

$$u_{cB}=k \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial f}{\partial x_i}\right)^2 * u^2(x_i)}, \quad (5)$$

где  $u(x_i)$  – стандартная неопределенность входной величины, оцененная по типу В;  $\frac{\partial f}{\partial x_i}$  – частные производные входных величин;  $k$  – коэффициент охвата, равный 1,1 при  $P_d=0,95$ .

Суммарная стандартная неопределенность по типу В для дымообразующей способности при тлении:

$$u_{cB}(D_m)=0,00746 \frac{\text{м}^2}{\text{кг}},$$

а при горении:

$$u_{cB}(D_m)=0,00978 \frac{\text{м}^2}{\text{кг}}.$$

При определении неопределенности дымообразующей способности находится соотношение суммарных стандартных неопределенностей по формуле расширенной неопределенности:

$$U(D_m)=k \sqrt{(u_{cA})^2 + (u_{cB})^2} \quad (6),$$

где  $u_{cA}$  – суммарная стандартная неопределенность по типу А;  $u_{cB}$  – суммарная стандартная неопределенность по типу В;  $k$  – коэффициент охвата ( $k=1,96$  при  $P_d=0,95$  согласно Приложению G ГОСТ 34100.3-2017).

$$U(D_m)=2 * \sqrt{(0,01342)^2 + (0,00746)^2}=0,0307 \quad (\text{для режима тления})$$

$$U(D_m)=2 * \sqrt{(0,01379)^2 + (0,00978)^2}=0,0338 \quad (\text{для режима горения})$$

Таким образом, для коврикков тафтинговых из полипропиленовых волокон (нитей) на подложке из ПВХ 900x1500x6 мм значение показателя дымообразования составит в режиме тления  $979,84 \pm 0,03 \frac{\text{м}^2}{\text{кг}}$ , в режиме горения –  $489,37 \pm 0,03 \frac{\text{м}^2}{\text{кг}}$ .

Сходимость результатов измерений вычисляют по формуле:

$$r_K=2,8 * U_{cA} \quad (7).$$

Результаты вычисления сходимости по результатам измерений дымообразующей способности напольных панелей ПВХ при тлении и горении указаны в таблице 2 и 3.

$$r_K=2,8 * 0,01342=37,5 \frac{\text{м}^2}{\text{кг}}=3,84\% \text{ при } P_d=0,95.$$

Повторяемость (сходимость) признается удовлетворительной, если выполняется неравенство  $r_K \leq r$ , где  $r$  – предел повторяемости, указанных в нормативной документации (15 % по выходу коэффициенту дымообразования п.4.18.4.3. ГОСТ 12.1.044-89).

### Результаты и их обсуждение

Результаты обработки показателя дымообразования (суммарные стандартные неопределенности по типу А и В, расширенная неопределенность, сходимость результатов) в режиме тления и горения приведены в таблицах 2 и 3.

Дымообразующая способность полипропилена и полиэстера, исследованная в работах [18, 21], влияет на характеристики первых трех исследуемых напольных покрытий ПВХ. В испытательной лаборатории ИКБС НИУ МГСУ получены следующие оценки: для режима тления относительная расширенная неопределенность составляет 20 %, для режима горения – 17 %. Дальнейшая оценка качества результатов измерений может производиться, как в работе [22].

Сопоставляя с результатами измерений  $D_m$  Института комплексной безопасности в строительстве НИУ МГСУ (табл. 4), получаем расхождения незначительные (не более 2 %).



Таблица 2

**Результаты обработки показателя дымообразования напольных покрытий ПВХ в режиме тления**

№ п/п	Наименование напольного покрытия	$D_m, \frac{м^2}{кг}$	$\bar{m}, г$	$\bar{I}_{min}, \%$	$U_{CA}$	$U_{CB}$	$U$	$r_k$
	1	2	3	4	5	6	7	8
1.	Коврики тафтинговые из полипропиленовых волокон (нитей) на подложке из ПВХ 900 × 1500 × 6 мм	979,84	1,232	15,6	0,013	0,01	0,03	3,84
2.	Коврики тафтинговые из полипропиленовых волокон (нитей) на подложке из ПВХ 900 × 1200 × 6 мм	923,03	1,272	16,8	0,025	0,01	0,05	7,81
3.	Коврики с верхом из синтетических (полиэфирных) волокон (нитей) на подложке из ПВХ 800 × 1200 × 6 мм	414,97	4,948	4,2	0,019	0,01	0,04	12,60
4.	Плитка ПВХ (ПВХ 27 %, CaCO <sub>3</sub> 54 %) 914 × 153 × 2,05 мм	390,80	5,8	3	0,002	0,01	0,02	1,50
5.	Плиты для фальшпола на основе сульфата кальция, плотностью 1730 кг/м	128,22	18,05	3,4	0,005	0,002	0,01	10,16

Таблица 3

**Результаты обработки показателя дымообразования напольных покрытий ПВХ в режиме горения**

№ п/п	Наименование напольного покрытия	$D_m, \frac{м^2}{кг}$	$\bar{m}, г$	$\bar{I}_{min}, \%$	$U_{CA}$	$U_{CB}$	$U$	$r_k$
	1	2	3	4	5	6	7	8
1.	Коврики тафтинговые из полипропиленовых волокон (нитей) на подложке из ПВХ 900 × 1500 × 6 мм	489,37	4,57	3,2	0,013	0,01	0,03	7,89
2.	Коврики тафтинговые из полипропиленовых волокон (нитей) на подложке из ПВХ 900 × 1200 × 6 мм	449,73	4,58	4,2	0,015	0,01	0,04	11,30
3.	Коврики с верхом из синтетических (полиэфирных) волокон (нитей) на подложке из ПВХ 800 × 1200 × 6 мм	248,48	4,892	15,4	0,005	0,002	0,01	6,44
4.	Плитка ПВХ (ПВХ 27 %, CaCO <sub>3</sub> 54 %) 914 × 153 × 2,05 мм	189,31	5,81	18,4	0,002	0,001	0,01	5,43
5.	Плиты для фальшпола на основе сульфата кальция, плотностью 1730 кг/м	50,42	17,97	24,8	0,001	0,0003	0,003	7,39

Таблица 4

**Средние значения в режиме тления и горения коэффициента дымообразования**

№ п/п	Наименование напольного покрытия	Среднее значение в режиме тления $D_m, \frac{м^2}{кг}$	Среднее значение в режиме горения $D_m, \frac{м^2}{кг}$
	1	2	3
1.	Коврики тафтинговые из полипропиленовых волокон (нитей) на подложке из ПВХ 900 × 1500 × 6 мм	981	485
2.	Коврики тафтинговые из полипропиленовых волокон (нитей) на подложке из ПВХ 900 × 1200 × 6 мм	906	451
3.	Коврики с верхом из синтетических (полиэфирных) волокон (нитей) на подложке из ПВХ 800 × 1200 × 6 мм	416	247
4.	Плитка ПВХ (ПВХ 27 %, CaCO <sub>3</sub> 54 %) 914 × 153 × 2,05 мм	396	189
5.	Плиты для фальшпола на основе сульфата кальция, плотностью 1730 кг/м	122	51

Два напольных покрытия ПВХ классифицированы в группу дымообразующей способности ДЗ (высокой,  $D_m > 500 \text{ м}^2/\text{кг}$ ), три – в группу Д2

(умеренной,  $50 < D_m < 500 \text{ м}^2/\text{кг}$ ) исходя из результатов, полученных как лично авторами, так и в Институте комплексной безопасности в строительстве НИУ МГСУ (табл. 1).

### Заключение (Conclusions)

1. Апробирована методика оценки неопределенности на основе ГОСТ 34100.3-2017 в случае косвенных измерений показателя дымообразования напольных покрытий ПВХ.
2. Расчеты расширенной неопределенности, выполненные в исследовании (табл. 2 и 3), существенно отличаются от полученных в лаборатории ИКБС НИУ МГСУ.
3. Два напольных покрытия ПВХ классифицированы в группу дымообразующей способности ДЗ, три – в группу Д2.

4. Неопределенность измерений формируется из-за неоднородности образцов, неисключенных систематических погрешностей средств измерений и испытательного оборудования, а также условий окружающей среды.

### Благодарности (Acknowledgement)

Авторы выражают благодарность за информационную поддержку сотрудникам Института комплексной безопасности в строительстве НИУ МГСУ и лично к.т.н. Портнову Федору Александровичу, заведующему сектором огневых испытаний строительных конструкций.

### Список литературы

1. Корольченко А. Я. Пожарная опасность строительных материалов : учебное пособие / А. Я. Корольченко, Д. В. Трушкин. – Москва : Пожнаука, 2005.
2. Чередниченко Т. Ф. Современные тенденции устройства напольных покрытий сооружений различного назначения с упрочненным верхним слоем / Т. Ф. Чередниченко, В. Д. Тухарели, Р. Т. Габбасов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. – 2020. – № 1 (78). – С. 47–57.
3. Amzan Alsbabri. Carbon footprint and embodied energy of PVC, PE, and PP piping: Perspective on environmental performance / Amzan Alsbabri, Sami G. Al-Ghamdi // Energy Reports. – 2020. – Vol. 6, suppl. 8. – P. 364–370.
4. Лисиенкова Л. Н. Методика оценки уровня качества материалов для напольных покрытий / Л. Н. Лисиенкова, Л. С. Носова // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2024. – № 1 (47). – С. 58–62.
5. Stec A. A. Fire Toxicity / A. A. Stec, T. R. Hull. – Cambridge, UK : Woodhead Publishing, CRC Press LLC, 2010.
6. Григорьева М. П. К вопросу об оценке дымообразующей способности напольных покрытий / М. П. Григорьева, Т. Ю. Еремина, Н. И. Константинова // Пожаровзрывобезопасность. – 2015. – Т. 24, № 8. – С. 34–42.
7. McLaggan M. S. Towards a better understanding of fire performance assessment of façade systems: Current situation and a proposed new assessment framework / M. S. McLaggan, J. P. Hidalgo, A. F. Osorio, J. Carrasca, D. Lang, C. Maluk, M. T. Heitzmann, J. L. Torero // Construction and Building Materials. – 2021. – Vol. 300. – P. 124301.
8. ASTM E662 Smoke Density Test. – Режим доступа: <https://www.vteclabs.com/testing/fire-flammability-testing/astm-e662/> (дата обращения: 27.10.2025), свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ.
9. Суриков А. В. Определение характеристик дымообразующей способности строительных материалов и расчет видимости при пожаре / А. В. Суриков, Н. С. Лешенюк // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2021. – Т. 5, № 1. – С. 5–19.
10. Исаков Г. Н. Анализ дымообразующей способности напольных покрытий на основе поливинилхлорида в условиях пожара / Г. Н. Исаков, А. Р. Манаева // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2015. – Т. 17, № 2. – С. 43–47.
11. Кузнецов В. П. Сопоставительный анализ погрешности и неопределенности измерений / В. П. Кузнецов // Измерительная техника. – 2003. – № 8. – С. 21–27.
12. Виноградова Н. И. Некоторые рассуждения о неопределенности и погрешности / Н. И. Виноградова, А. А. Гризо, А. А. Завьялова // Advances in law studies. – 2022. – Т. 10, № 3. – С. 66–70.
13. Фролов С. В. Погрешность и неопределенность в контексте современных подходов к оцениванию точности результатов измерений / С. В. Фролов, С. П. Грабарев // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2010. – № 1. – С. 86–94.
14. Мухамеджанова О. Г. Оценка декоративной напольной штукатурки на пожароопасность / О. Г. Мухамеджанова, А. А. Алферова // Нанотехнологии в строительстве. – 2025. – Т. 17, № 3. – С. 235–243.
15. Mukhamedzhanova Olga. Method for calculating the uncertainty of toxicity of combustion products / Olga Mukhamedzhanova and Sofya Kovaleva // Bio Web of Conferences. – 2024. – Vol. 93. – P. 1–12.
16. Mukhamedzhanova Olga. A method for calculating the uncertainty of the tensile strength during bending of concrete prisms used in the construction of transport infrastructure / Olga Mukhamedzhanova and Dmitrii Dolgoruko // Transportation Research Procedia. – 2022. – № 63. – P. 2608–2613.
17. ISO. EN ISO 5659. Plastics-Smoke generation. – Brussels, Belgium, 2017. – Part 2. Determination of optical density by a single-chamber test.
18. Półka M. Smoke Emission Properties of Floor Covering Materials of Furnished Apartments in a Building / M. Półka, A. Szajewska // Int J Environ Res Public Health. – Dec. 3 2020. – № 17 (23). – P. 9019.
19. Григорьева М. П. Пожаробезопасное применение напольных покрытий в зданиях с планировкой коридорного типа : автореф. дисс. ... канд. техн. наук / М. П. Григорьева. – М. : Академия Государственной противопожарной службы МЧС России, 2018. – 24 с.
20. Алехин Е. М. Расчетно-аналитический метод оценки дымообразующей способности напольных покрытий / Е. М. Алехин, М. П. Григорьева, Т. Ю. Еремина, Н. И. Константинова // Промышленное и гражданское строительство. – 2017. – № 5. – С. 67–71.
21. Staszko S. Analiza właściwości palnych i termicznych wytypowanych wykładzin podłogowych / S. Staszko // Zeszyty Naukowe SGSP. – 2018. – № 67. – P. 17–36.

22. Мухамеджанова О. Г. Статистический анализ при проведении межлабораторных сличительных испытаний / О. Г. Мухамеджанова, Л. Р. Сатлыкова // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2022. – № 2 (40). – С. 94–98.

© С. А. Ермаков, Д. И. Кабиров, Е. А. Коцуба

**Ссылка для цитирования:**

Ермаков С. А., Кабиров Д. И., Коцуба Е. А. Оценка показателя дымообразующей способности напольных покрытий ПВХ // Инженерно-строительный вестник Прикаспия: научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГБОУ АО ВО «АГАСУ», 2025. № 4 (54). С. 29–35.

УДК 620.193

DOI 10.52684/2312-3702-2025-54-4-35-39

## ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ НАНОМОДИФИЦИРОВАННОГО БЕТОНА К КОРРОЗИИ В УСЛОВИЯХ ПОВЫШЕННОЙ БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ

**С. А. Логинова, И. А. Воронов**

**Логинова Светлана Андреевна**, кандидат технических наук, заведующий кафедрой «Строительство зданий и сооружений», Ярославский государственный технический университет, г. Ярославль, Российская Федерация, тел.: + 7 (906) 617-12-27; e-mail: sl79066171227@yandex.ru;

**Воронов Илья Артемович**, ассистент кафедры «Строительство зданий и сооружений», Ярославский государственный технический университет, г. Ярославль, Российская Федерация, тел.: + 7 (915) 983-99-05; e-mail: voronovia@ystu.ru

Анализ коррозионной стойкости наномодифицированного бетона в биологически агрессивных средах предполагает проведение многосторонних научных изысканий, охватывающих широкий спектр характеристик материалов, включая химический состав компонентов, физико-химическое взаимодействие веществ, структуру порового пространства, механические свойства и эксплуатационные характеристики конечного продукта. Использование специальных добавок на наноразмерном уровне позволяет существенно повысить устойчивость бетонных конструкций к коррозии с учетом воздействием биофакторов. Проведенное исследование подтверждает, что применение наномодификации значительно повышает устойчивость бетона к биокоррозии благодаря эффективному взаимодействию компонентов цемента с добавками на наноуровне, что улучшает адгезивные свойства и плотность матрицы материала.

**Ключевые слова:** коррозия, наномодификация, нанодобавки, биоактивность, антикоррозионная защита.

## STUDY OF THE CORROSION RESISTANCE OF NANOMODIFIED CONCRETE UNDER CONDITIONS OF INCREASED BIOLOGICAL ACTIVITY

**S. A. Loginova, I. A. Voronov**

**Loginova Svetlana Andreyevna**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Construction of Buildings and Structures Department, Yaroslavl State Technical University, Yaroslavl, Russian Federation, phone: + 7 (906) 617-12-27; e-mail: sl79066171227@yandex.ru;

**Voronov Ilya Artemovich**, Assistant Professor of Construction of Buildings and Structures Department, Yaroslavl State Technical University, Yaroslavl, Russian Federation, phone: + 7 (915) 983-99-05; e-mail: voronovia@ystu.ru

The study of nanomodified concrete's corrosion resistance in biologically aggressive environments entails carrying out extensive scientific investigations encompassing various material attributes, such as the chemical makeup of its constituents, physicochemical interactions among substances, pore space architecture, and both mechanical properties and functional performance of the end product. The use of special additives at the nanoscale level significantly enhances the resistance of concrete structures to corrosion, taking into account the impact of biological factors. The conducted research confirms that the use of nanomodification significantly increases the resistance of concrete to bio-corrosion due to the effective interaction of cement components with additives at the nanoscale, which improves the adhesive properties and density of the material matrix.

**Keywords:** corrosion, nanomodification, nanoadditives, bioactivity, anti-corrosion protection.

### Введение

В последние годы существенно повысился интерес исследователей к вопросам повышения устойчивости строительных материалов, особенно бетона к воздействию коррозии, с учетом негативного воздействия микроорганизмов [1–3]. Биологическая коррозия цементного камня представляет собой сложный физико-химический про-

цесс, обусловленный жизнедеятельностью микроорганизмов, присутствующих в окружающем пространстве [4]. Микроорганизмы способны вызывать химические реакции, приводящие к постепенному разрушению структуры бетона, снижению его прочностных характеристик и уменьшению срока службы сооружений. Для адекватной оценки степени износа цементного камня важно провести углубленное изучение механизмового