

УДК 699.812.3

СНИЖЕНИЕ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ НАПОЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ ИНТУМЕСЦЕНТНЫМИ ЛАКАМИ УФ-ОТВЕРЖДЕНИЯ

Бабикина Анастасия Станиславна, Зыбина Ольга Александровна, Устинов Андрей Александрович
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация. В статье предлагается методика оценки огнезащитной эффективности напольных покрытий, обработанных вспучивающимися композициями, отверждаемыми под УФ-LED-излучением. Исследованы две рецептуры с различными однофункциональными мономерами (HEMA и IBOA), выполнены огневые испытания на образцах коммерческого ламината 33-го класса износостойкости и класса горючести Г4 в соответствии с ГОСТ 53292–2009. В качестве критериев эффективности анализировались степень термических повреждений и относительная потеря массы образцов; также изучалась зависимость результатов от химического состава композиции и толщины нанесенного слоя (приблизительно 150 мкм на один слой). Эксперименты показали, что композиция на основе IBOA обеспечивает более эффективное формирование интумесцентного теплоизолирующего слоя, меньшую потерю массы и снижение видимых повреждений по сравнению с HEMA-рецептурой. Установлена существенная роль толщины покрытия: сокращение толщины слоя не всегда снижает огнезащитные свойства и в ряде случаев позволяет сохранять защитную эффективность при экономии материала. Отмечены преимущества УФ-LED-отверждения — высокая скорость полимеризации, получение тонких функциональных слоев и сохранение декоративных свойств покрытия — что делает предложенный подход перспективным для практического применения и дальнейших исследований.

Ключевые слова: пожарная безопасность, огнезащита, средства огнезащиты, вспучивающиеся покрытия, интумесцентные композиции, огнезащитные краски

Для цитирования: Бабикина А. С., Зыбина О. А., Устинов А. А. Снижение пожарной опасности напольных покрытий интумесцентными лаками УФ-отверждения // Техносферная безопасность. 2025. № 4 (49). С. 174–182.

REDUCING THE FIRE HAZARD OF FLOOR COVERINGS WITH INTUMESCENT UV-CURABLE VARNISHES

Anastasiia S. Babikova, Olga A. Zybina, Andrei A. Ustinov
Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Saint Petersburg, Russian Federation

Abstract. The paper proposes a methodology for evaluating the fire protection efficiency of floor coverings treated with intumescent compositions cured under UV LED radiation. Two formulations with different single-functional monomers (HEMA and IBOA) were studied, and fire tests were performed on samples of commercial laminate of wear resistance class 33 and flammability class G4 in accordance with GOST 53292–2009. The degree of thermal damage and relative mass loss of the samples were analyzed as performance criteria; the dependence of the results on the chemical composition of the compound and the thickness of the applied layer (approximately 150 μm per layer) was also studied. Experiments showed that the IBOA-based composition ensures more efficient formation of the intumescent heat-insulating layer, lower mass loss, and reduced visible damage compared to the HEMA formulation. A significant role of the coating thickness was established: a decrease in the layer thickness does not always reduce the fire protection properties and, in some cases, makes it possible to maintain the protective efficiency while saving material. The advantages of UV LED curing are noted — high polymerization speed, production of thin functional layers and preservation of the decorative properties of the coating — which makes the proposed approach promising for practical application and further research.

Keywords: fire safety, fire protection, fire protection products, intumescent coatings, intumescent compositions, fire-retardant paints

For Citation: Babikova A. S., Zyбина O. A., Ustinov A. A. Reducing the fire hazard of floor coverings with intumescent UV-curable varnishes // Technospheric safety. 2025. № 4 (49). Pp. 174–182.

Введение

Высокая пожарная опасность горючих строительных материалов является одной из критических проблем современного строительства, для решения которой необходимы новые разработки эффективных мер защиты и совершенствование существующих. Огнезащитные вспучивающиеся композиции (далее — ОВК) являются известным и перспективным средством защиты строительных конструкций от огня. Механизм действия ОВК основан на формировании вспененного слоя, обладающего теплоизолирующими свойствами, при воздействии высоких температур [1]. Этот слой препятствует теплопередаче и поступлению кислорода к защищаемому материалу, замедляя процессы термодеструкции и рас-

пространения пламени. Использование ОВК позволяет увеличить предел огнестойкости строительных конструкций, обеспечив увеличение времени эвакуации при пожаре и снижение материальных потерь [2].

Также очень важно обращать внимание и на свойства материала (тип древесины, условия эксплуатации, нормативные требования и т. д.), для защиты которого применяется огнезащитное покрытие. Для деревянных строительных конструкций наиболее важной задачей является снижение пожарной опасности при сохранении декоративных свойств (при использовании ламината это играет большую роль).

Отделочные материалы на древесной основе представляют собой особенно опасную группу в контексте пожаров: их физико-химическая структура способствует быстрому

распространению пламени по поверхности. Ранее показатель огнестойкости напольных покрытий определялся по классификации КМ (класс пожарной опасности строительных материалов), однако после изменений в Федеральном законе № 123, вступивших в силу в 2021 г., данная система более не применяется. В современных условиях для ламината и аналогичных изделий применяют классификацию по классам горючести Г1–Г4, которые зависят от используемого сырья и технологических параметров производства [3]. При этом даже изделия, отнесенные к низкому классу пожарной опасности, при горении могут выделять токсичные продукты и способствовать поверхностному распространению огня, что делает разработку эффективных огнезащитных составов для напольных покрытий приоритетной задачей. Одним из современных подходов к решению этой проблемы являются огнезащитные покрытия, отверждаемые под УФ-LED-излучением, сочетающие быстроту отверждения и возможность получения тонких функциональных слоев.

Технология УФ-отверждения, разработанная в 60-х гг. XX в., широко используется в различных отраслях промышленности, в т. ч. в России, благодаря высокой скорости отверждения. Данный метод позволяет получать покрытия с необходимыми защитными, декоративными и функциональными свойствами [4].

УФ-отверждаемые огнезащитные материалы представляют собой композиции на основе полимерных смол. Под воздействием ультрафиолетового излучения происходит полимеризация, приводящая к формированию твердой, термостойкой пленки, которая защищает материал от внешнего воздействия. Необходимо

отметить, что эффективность огнезащитных покрытий УФ-LED-отверждения зависит от толщины покрытия, нанесенного на защищаемую поверхность. Можно предположить, что чем выше толщина слоя огнезащитного покрытия, тем выше способность материала выдерживать влияние высоких температур при пожаре. Однако избыточное увеличение толщины слоя может негативно повлиять на эксплуатационные характеристики материала и увеличить затраты на производство.

Основная часть

В рамках исследования был сформулирован и испытан базовый вариант вспучивающейся огнезащитной композиции, предназначенной для УФ-LED-отверждения (табл. 1) [5]. Созданы две рецептуры, отличающиеся типом однофункционального мономера разбавителя. Выбор мономеров обусловлен их ролью в формировании сетки полимера и регулировании вязкости смесей: реакционноспособные мономеры влияют на скорость полимеризации, адгезию к основе и конечные механико-тепловые характеристики отвержденного покрытия.

В качестве подложки для нанесения покрытий использовались образцы коммерческого ламината с 33-м классом износостойкости и присвоенным классом пожарной опасности Г4 согласно ст. 3 [3].

Нанесение подготовленных составов на образцы коммерческого ламината размером 10 × 20 см выполняли при помощи специального аппликатора. Всего было подготовлено пять образцов: № 1 — контроль (без покрытия; рис. 1а); № 2, 3 — покрытые композицией № 1, нанесенной в два слоя; № 4, 5 — покрытые композицией № 2 также

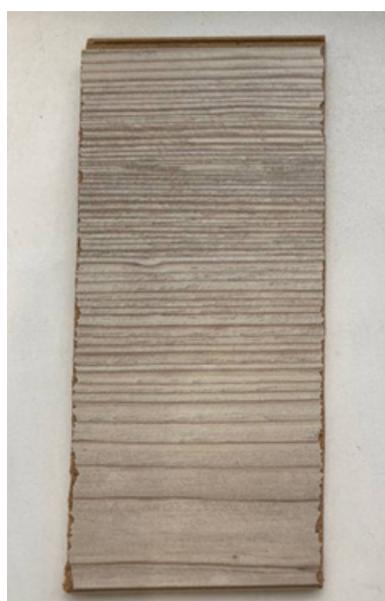
в два слоя. Толщина каждого нанесенного слоя составляла приблизительно 150 мкм. После нанесения образцы подвергали УФ-LED-отверждению под лампой (рис. 1б) UVGO 365 nm / 1800 W AC90V-230V (диапа-

зон длины волны 365–390 нм); параметры отверждения подбирались с целью обеспечить равномерную полимеризацию без перегрева подложки и сохранения декоративных свойств покрытия.

Таблица 1
Базовая рецептура вспучивающейся композиции LED-отверждения

Table 1
Basic formula for LED curing intumescent composition

Наименование компонента Name of component	Содержание, % Quantity, %
Фотоинициатор Photoinitiator	3
Олигомер Oligomer	3
Мономер Monomer	34
Интумесцентная композиция Intumescent composition	60
Итого Total	100



а)



б)

Рис. 1. Вид образцов:

а — контрольный образец ламината; б — образцы с огнезащитным покрытием под УФ-LED-лампой

Fig. 1. Images of samples:

a — control sample of laminate; b — samples with fire-retardant coating under UV LED lamp

Для проведения огневых испытаний была собрана лабораторная установка на штативе с лапкой, в которой фиксируемый образец располагался на расстоянии 10 см от края

сопла горелки. Интенсивность пламени регулировали таким образом, чтобы исключить чрезмерно быстрое термическое разложение образца и обеспечить сопоставимые условия

испытаний. Экспозиция открытого пламени составляла 2 мин (120 с). В ходе испытаний регистрировали степень прогара образцов и их потерю массы — показатели, представ-

ленные в табл. 2; контроль параметров испытаний обеспечивает воспроизводимость результатов и позволяет корректно соотнести данные с нормативными требованиями.

Таблица 2
Результаты огневых испытаний
Table 2
Results of fire tests

№	1	2	3	4	5
Время отверждения, с Curing time	—	90	120	90	120
Потеря массы, % Mass loss, %	7,6	2,2	3,02	2,05	0,17
Вид образцов после испытаний Appearance of samples after testing					

Степень видимого термического повреждения образца — это показатель, который позволяет оценить внешние изменения материала после воздействия на него высоких температур и дает представление о том, как долго исследуемый материал может сохранять свои физические свойства в условиях экстремального нагрева.

Еще одним показателем огнезащитной эффективности интумесцентной композиции в случае материалов из древесины является потеря массы образца, которая рассчитывается как разница в массе образца до огневого испытания и после.

Чем выше потеря массы, тем менее эффективным считается огнезащитное покрытие.

По показателю потери массы, согласно ГОСТ, огнезащитное покрытие относят к определенной группе огнезащитной эффективности (не более 9 % — I группа

огнезащитной эффективности; более 9 %, но не более 25 % — II группа огнезащитной эффективности; более 25 % — не обеспечивается огнезащита древесины [6]).

Для того чтобы оценить влияние толщины слоя огнезащитной композиции на показатель огнезащитной эффективности, решили уменьшить толщину покрытия до значений менее 150 мкм и затем повторили огневые испытания (табл. 3).

По итогам экспериментов наилучшие огнезащитные характеристики продемонстрировала композиция № 2 (ИВОА): наилучшие показатели наблюдались у образца № 5 в первом цикле испытаний и у образца № 3 при повторном испытании с уменьшенной толщиной защитного слоя (рис. 2). Это свидетельствует о том, что выбранный мономер-разбавитель в составе № 2 обеспечивает более эффективное формирование

интумесцентного слоя и лучшую защиту основания, что выражается в снижении поте-

ри массы и уменьшении степени видимого термического повреждения.

Таблица 3
Результаты огневых испытаний после уменьшения защитного слоя

Table 3

The results of fire tests after reducing the protective layer

№	1	2	3
Время отверждения, с Curing time	—	90	90
Потеря массы, % Mass loss, %	8,98	1,98	0,96
Вид образцов после испытаний Appearance of samples after testing			

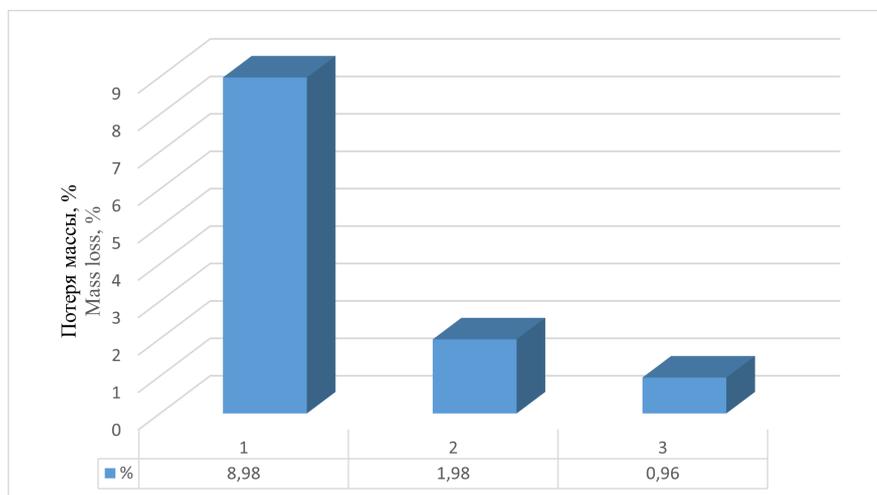


Рис. 2. Наглядное сравнение значений потери массы образцов после огневого испытания
Fig. 2. Visual comparison of the mass loss values of the samples after the fire test

Выводы

В ходе эксперимента разработана методика оценки огнезащитной эффектив-

ности напольных покрытий, обработанных вспучивающимися композициями УФ-LED-отверждения, с учетом различных составов и толщины покрытия.

Проведенные огневые испытания на образцах ламината 33-го класса износостойкости и класса горючести Г4 показали, что композиция на основе ИВОА демонстрирует более высокую огнезащитную эффективность по сравнению с составом на основе НЕМА. Также важным фактором является снижение потери массы и степени термического повреждения при использовании композиции на основе ИВОА, что подтверждает ее более высокую стойкость к воздействию высоких температур.

Результаты испытаний свидетельствуют о значительной зависимости огнезащитной эффективности вспучивающихся покрытий

УФ-отверждения от толщины нанесенного слоя: уменьшение толщины слоя до значений менее 150 мкм не сказывается негативно на показателе огнезащитной эффективности, а в некоторых случаях сказывается даже позитивно, что позволяет сократить экономические потери при использовании таких материалов и говорит об их технологичности.

В целом использование вспучивающихся композиций на основе однофункционального мономера ИВОА с оптимальной толщиной слоя является перспективным направлением для повышения пожарной безопасности напольных покрытий и строительных конструкций в целом.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Зыбина О. А., Рушкина К. С., Мнацаканов С. С. О роли пентаэритрита в процессе термолитического синтеза пенококсовых огнезащитных покрытий // Инновационные материалы и технологии в дизайне : тезисы докладов II Всероссийской научно-технической конференции (с участием молодых ученых), Санкт-Петербург, 24–25 марта 2016 г. / отв. ред. О. Э. Бабкин. СПб., 2016. С. 63.
2. UV-cured coatings for functional protection / O. E. Babkin et al. // Russian Journal of Applied Chemistry. 2016. Vol. 89, № 1. Pp. 114–119.
3. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : Федер. закон № 123-ФЗ : принят Государственной Думой 04.07.2008 : одобрен Советом Федерации 11.07.2008 // Гарант.ру : информационно-правовой портал. URL: <https://base.garant.ru/12161584/> (дата обращения: 15.04.2025).
4. Павлович А. В., Дринберг А. С., Врублевский С. Б. Огнезащитные вспучивающиеся покрытия для древесины. М., 2022. 416 с.
5. Томахова А. С., Зыбина О. А., Бабкин О. Э. УФ-отверждаемые вспучивающиеся полимерные покрытия // Инновационные материалы и технологии в дизайне : тезисы докладов V Всероссийской научно-практической конференции с участием молодых ученых, Санкт-Петербург, 21–22 марта 2019 г. / редкол.: О. Э. Бабкин [и др.]. СПб, 2019. С. 26–28.
6. ГОСТ 16363–98. Средства огнезащитные для древесины. Методы определения огнезащитных свойств : принят Межгосударственным Советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол № 13 от 28 мая 1998 г.) : взамен ГОСТ 16363–76 // Консорциум Кодекс : электронный

фонд правовых и нормативно-технических документов. URL: <https://clck.ru/3RUSqp> (дата обращения: 20.04.2025).

REFERENCES

1. Zybina O. A., Rushkina K. S., Mnatsakanov S. S. On the role of pentaerythritol in the process of thermolytic synthesis of foam coke fire-protective coatings // Innovative materials and technologies in design : Abstracts of reports of the II All-Russian scientific and technical conference (with the participation of young scientists), St. Petersburg, March 24–25, 2016 / ed. O. E. Babkin. St. Petersburg, 2016. P. 63.
2. UV-cured coatings for functional protection / O. E. Babkin et al. // Russian Journal of Applied Chemistry. 2016. Vol. 89, № 1. Pp. 114–119.
3. Technical Regulations on Fire Safety Requirements : Federal Law № 123-FZ : adopted by the State Duma on 04.07.2008 : approved by the Federation Council on 11.07.2008 // Garant ru : information and legal portal. URL: <https://base.garant.ru/12161584/> (date of application: 15.04.2025).
4. Pavlovich A. V., Drinberg A. S., Vrublevsky S. B. Fire-protective intumescent coatings for wood. Moscow, 2022. 416 p.
5. Tomakhova A. S., Zybina O. A., Babkin O. E. UV-curable intumescent polymer coatings // Innovative materials and technologies in design : Abstracts of reports of the V All-Russian scientific and practical conference with the participation of young people, St. Petersburg, March 21–22, 2019 / ed. board: O. E. Babkin [et al.]. St. Petersburg, 2019. Pp. 26–28.
6. GOST 16363–98. Fire protection products for wood. Methods for determining fire protection properties : adopted by the Interstate Council for Standardization, Metrology, and Certification (Minutes № 13 dated May 28, 1998) : in place of GOST 16363–76 // Codex : electronic fund of legal and normative-technical inform. URL: <https://clck.ru/3RUSqp> (date of application: 20.04.2025).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Бабикова Анастасия Станиславна, аспирант, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (195251, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург, Политехническая ул., д. 29); РИНЦ ID: 980027; Scopus Author ID: 57205080246; ORCID: 0000-0002-3879-7401; e-mail: anastasiiababikova@mail.ru

Зыбина Ольга Александровна, д-р техн. наук, доцент, заведующая базовой кафедрой «Пожарная безопасность» Инженерно-строительного института, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (195251, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург, Политехническая ул., д. 29); РИНЦ ID: 505657; Scopus Author ID: 6504571187; ORCID: 0000-0001-9401-7206; e-mail: ozakata@mail.ru

Устинов Андрей Александрович, канд. техн. наук, ассистент базовой кафедры «Пожарная безопасность», Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (195251, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург, Политехническая ул., д. 29); РИНЦ ID: 137470; Scopus Author ID: 57201184778; ORCID: 0000-0001-6350-5338; e-mail: ustinov@gefest-spb.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Anastasiia S. Babikova, graduate student, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University (29B Polytechnicheskaya str., St. Petersburg, 195251, Russian Federation); ID RISC: 980027; Scopus Author ID: 57205080246; ORCID: 0000-0002-3879-7401; e-mail: anastasiia_babikova@mail.ru

Olga A. Zybina, Dr. Sci. (Eng.), associate professor Head of the basic department „Fire safety“ of the Civil Engineering Institute, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University (29B Polytechnicheskaya str., St. Petersburg, 195251, Russian Federation); ID RISC: 505657; Scopus Author ID: 6504571187; ORCID: 0000-0001-9401-7206; e-mail: ozakata@mail.ru

Andrei A. Ustinov, PhD, Assistant Professor of „Fire Safety“ Department, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University (29B Polytechnicheskaya str., St. Petersburg, 195251, Russian Federation); ID RISC: 137470; Scopus Author ID: 57201184778; ORCID: 0000-0001-6350-5338; e-mail: ustinov@gefest-spb.ru

Поступила в редакцию 21.09.2025
Одобрена после рецензирования 12.10.2025
Принята к публикации 05.12.2025