

ЭКОЛОГИЯ И БЕЗОПАСНОСТЬ

ЭКОЛОГИЯ И ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Статья поступила в редакцию: 11.09.2026

Статья принята к публикации: 17.09.2026

Статья опубликована: 28.09.2026

УДК 614.841.2

DOI: 10.32743/UniTech.2026.150.9.23416

Исследование огнезащитной эффективности коллоидных композиций на основе вермикулита для древесины

Литяга Артём Валерьевич

д.ф.т.н. (PhD), доц., доц.

кафедры Центра повышения квалификации сотрудников Министерства занятости и сокращения бедности

Республика Узбекистан, г. Ташкент

E-mail: tyoma8812@mail.ru

Халилов Хусан Шукрулла угли

главный инспектор Управление организации образовательного процесса, МЧС Республики Узбекистан

Республика Узбекистан, г. Ташкент

Библиографическое описание: Литяга А.В., Халилов Х.Ш.У. Исследование огнезащитной эффективности коллоидных композиций на основе вермикулита для древесины // Universum: технические науки : электрон. научн. журн. 2026. 9(150). URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/23416>

Study of the fire-retardant efficiency of vermiculite-based colloidal compositions for wood

Lityaga Artem Valeryevich

PhD, Associate Professor

Associate Professor at the Staff Professional Development Center

Ministry of Employment and Poverty Reduction

Republic of Uzbekistan, Tashkent

Khalilov Khusan Shukrulla ugli

Chief Inspector, Educational Process Organization Department, Ministry of Emergency Situations

of the Republic of Uzbekistan

Republic of Uzbekistan, Tashkent

Аннотация

Целью настоящего исследования является оценка огнезащитной эффективности разработанных коллоидных композиций на основе вермикулита, предназначенных для защиты древесных конструкций и изделий. В качестве компонентов исследуемых огнезащитных составов использовались соединения на основе местного сырья и широко применяемые химические реагенты, включая кремний-, фосфор-, азот- и борсодержащие компоненты. Для оценки защитных свойств были подготовлены экспериментальные образцы древесины, обработанные разработанными композициями марок VKK (вермикулитовая коллоидная композиция)-1 и VKK-2. Испытания проводились в лабораторных условиях в соответствии с требованиями ГОСТ 16363-98 [4, с. 2–3]. В ходе исследований определяли время самостоятельного горения, продолжительность тления, массу образцов до и после испытания и потерю массы. Для каждой композиции исследовано по 10 образцов. Установлено, что среднее время самостоятельного горения образцов, обработанных составом VKK-1, составило 37,0 с, а составом VKK-2 — 44,9 с. Средняя потеря массы составила соответственно 11,89 и 12,72 %. По результатам испытаний оба исследованных состава при расходе не менее 1000 г/м² обеспечивают получение II группы огнезащитной эффективности древесины по ГОСТ 16363-98 [4, с. 5]. Полученные результаты свидетельствуют о перспективности применения разработанных коллоидных композиций на основе вермикулита для огнезащитной обработки древесных конструкций и сооружений.

Abstract

The aim of this study is to evaluate the fire-retardant effectiveness of the developed vermiculite-based colloidal compositions intended for protecting wooden structures and products. Compounds based on local raw materials and widely used chemical reagents, including silicon, phosphorus, nitrogen, and boron-containing components, were used as components for the investigated fire-retardant compositions. To evaluate the protective properties, experimental samples of wood treated with the developed compositions of the VKK-1 and VKK-2 grades were prepared. The tests were conducted under laboratory conditions in accordance with the requirements of GOST 16363-98 [4, p. 2–3]. During the research, the duration of self-sustained combustion, smoldering time, mass of the samples before and after testing, and mass loss were determined. For each composition, 10 samples were examined. It was established that the average duration of independent combustion for the samples treated with the VKK-1 composition was 37.0

s, and for the VKK-2 composition, it was 44.9 s. The average mass loss was 11.89 % and 12.72 %, respectively. According to the test results, both compositions, at a consumption rate of at least 1000 g/m², provide fire-retardant efficiency corresponding to Group II according to GOST 16363-98 [4, p. 5]. The obtained results demonstrate the potential of the developed vermiculite colloidal compositions for fire-retardant treatment of wooden structures and buildings.

Ключевые слова: огнезащитная композиция, вермикулит, древесина, огнезащитная эффективность, потеря массы, горение, тление, огнезащитная обработка.

Keywords: fire-retardant composition, vermiculite, wood, fire-retardant efficiency, mass loss, combustion, smoldering, fire protection treatment.

Введение

Древесина широко применяется в строительстве, производстве конструкций, отделочных материалах и других областях благодаря доступности, технологичности и эксплуатационным характеристикам. Вместе с тем древесина относится к горючим материалам, вследствие чего её применение в строительных конструкциях требует реализации эффективных мероприятий по обеспечению пожарной безопасности.

Одним из наиболее распространённых способов снижения пожарной опасности древесины является нанесение огнезащитных составов, способных препятствовать воспламенению материала, снижать интенсивность его термического разложения и ограничивать развитие процесса горения [3, с. 59–60; 1, с. 14]. Эффективность таких составов определяется их химическим составом, механизмом действия, адгезией к поверхности древесины, расходом и условиями эксплуатации [9, с. 70].

Перспективным направлением является использование минеральных компонентов, способных при нагревании формировать защитный слой на поверхности материала [8, с. 24]. Особый интерес представляют композиции на основе вермикулита, которые могут сочетать теплоизоляционные свойства минерального наполнителя с действием фосфор-, кремний-, азот- и борсодержащих компонентов [7, с. 110; 5, с. 36].

В настоящей работе исследованы разработанные огнезащитные коллоидные композиции на основе вермикулита марок VKK-1 и VKK-2. Полный количественный состав разработанных композиций в статье не раскрывается [11, с. 4]. Целью исследования являлось экспериментальное определение огнезащитной эффективности разработанных композиций при их применении для защиты древесных материалов и установление соответствия полученных результатов требованиям ГОСТ 16363-98 [4, с. 4–6].

Материалы и методы исследования

Материалы и подготовка экспериментальных образцов

В качестве компонентов для получения огнезащитных композиций использовались соединения на основе местного сырья и широко применяемые химические реагенты. Для формирования защитных свойств применялись кремний-, фосфор-, азот- и борсодержащие компоненты, а также силикатное связующее и отвердитель [10, с. 25].

Диоксид кремния (SiO_2) использовался в качестве кремнийсодержащего компонента. Он представляет собой кристаллическое соединение с молярной массой 60,08 г/моль и плотностью 1,96–2,60 г/см³. Температура плавления составляет 1710 °С.

В качестве силикатного связующего использовали жидкое стекло — 5 %-ный водный раствор девятиводного метасиликата натрия ($\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$) с силикатным модулем 3,2 и плотностью 1,30 г/см³.

Отвердителем служил гексафторсиликат натрия (Na_2SiF_6), представляющий собой белый кристаллический порошок с молярной массой 188,06 г/моль и плотностью 2,76 г/см³.

Для повышения огнезащитной эффективности композиции использовали декагидрат тетрабората натрия ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), или буру. В качестве фосфор- и азотсодержащих компонентов применяли ортофосфорную кислоту (H_3PO_4) и карбамидофосфат ($\text{NH}_2\text{CONH}_2 \cdot \text{H}_3\text{PO}_4$) [2, с. 25].

Полный количественный состав разработанных огнезащитных композиций в настоящей статье не приводится. Для экспериментальных исследований композиции были идентифицированы как VKK-1 и VKK-2.

Подготовка экспериментальных образцов

Приготовление исследуемых композиций осуществляли с использованием лабораторных электронных весов, обеспечивающих точное дозирование компонентов.

Для проведения испытаний были подготовлены деревянные бруски длиной 150 мм, шириной 60 мм и толщиной 30 мм. Для каждой исследуемой композиции — VKK-1 и VKK-2 — было подготовлено по 10 образцов. На подготовленные образцы наносили разработанные коллоидные огнезащитные композиции на основе вермикулита в три слоя. После нанесения каждого слоя образцы высушивали в сушильном шкафу при температуре 60 ± 5 °С. После завершения обработки и окончательной сушки образцы выдерживали до проведения испытаний. После нанесения каждого слоя образцы высушивали в сушильном шкафу при температуре 60 ± 5 °С. После нанесения третьего слоя и окончательной сушки образцы выдерживали при комнатной температуре до проведения испытаний [6, с. 80].

Испытания проводились 3 июля 2026 г. в лаборатории Института проблем пожарной безопасности и чрезвычайных ситуаций Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Узбекистан. Температура воздуха составляла 26 °С, атмосферное давление — 715 мм. Нг., относительная влажность — 35 %. Огнезащитную эффективность определяли в соответствии с требованиями ГОСТ 16363-98 «Средства защиты древесины. Методы определения огнезащитных свойств» [4, с. 2]. Основными оцениваемыми показателями являлись время подачи источника зажигания, время самостоятельного горения, продолжительность тления, масса образца до и после испытания и потеря массы.

Результаты и обсуждение

Экспериментальная оценка огнезащитных свойств разработанных композиций VKK-1 и VKK-2 проводилась на серии из десяти образцов для каждой композиции. Источник зажигания подавался в течение 120 с для всех исследованных образцов.

Таблица 1.
Результаты испытаний древесных образцов, обработанных огнезащитной композицией VKK-1

№ п/п	Подача источника, с	Самост. горение, с	Тление, с	До испытания, г	После испытания, г	Потеря, г	Потеря массы, %
1.	120	36	47	126,27	110,25	16,02	12,69
2.	120	38	40	128,85	115,63	13,22	10,26
3.	120	35	46	125,91	112,58	13,33	10,59
4.	120	42	44	127,42	115,93	11,49	9,02
5.	120	33	47	129,84	114,81	15,03	11,58
6.	120	37	42	128,13	108,06	20,07	15,66
7.	120	40	51	126,90	111,58	15,32	12,07
8.	120	34	49	127,63	112,72	14,91	11,68
9.	120	37	46	125,49	109,90	15,59	12,42
10.	120	38	43	128,07	111,51	16,56	12,93
Среднее	120	37,0	45,5	—	—	—	11,89

Для образцов, обработанных составом VKK-1, время самостоятельного горения находилось в диапазоне 33–42 с, а продолжительность тления — 40–51 с. Среднее время самостоятельного горения составило 37,0 с, средняя продолжительность тления — 45,5 с. Потеря массы отдельных образцов изменялась от 9,02 до 15,66 %, при среднем значении 11,89 %.

Таблица 2.
Результаты испытаний древесных образцов, обработанных огнезащитной композицией VKK-2

№ п/п	Подача источника, с	Самост. горение, с	Тление, с	До испытания, г	После испытания, г	Потеря, г	Потеря массы, %
1.	120	41	49	124,94	113,74	11,20	8,96
2.	120	47	52	127,70	109,58	18,12	14,19
3.	120	44	58	124,31	111,74	12,57	10,11
4.	120	46	51	125,47	108,51	16,96	13,52
5.	120	43	55	127,60	107,30	20,30	15,91
6.	120	51	54	127,53	110,82	16,71	13,10
7.	120	49	59	124,27	109,07	15,20	12,23
8.	120	46	57	127,58	110,49	17,09	13,40
9.	120	40	51	124,16	108,22	15,94	12,84
10.	120	42	52	126,82	110,37	16,45	12,97
Среднее	120	44,9	53,8	—	—	—	12,72

Для образцов, обработанных составом VKK-2, время самостоятельного горения составило 40–51 с, а продолжительность тления — 49–59 с. Средние значения этих показателей составили соответственно 44,9 и 53,8 с. Потеря массы образцов находилась в диапазоне 8,96–15,91 %, а среднее значение составило 12,72 %.

Сравнительная оценка результатов

Сопоставление результатов показывает, что среднее время самостоятельного горения образцов, обработанных VKK-2, было выше на 7,9 с по сравнению с VKK-1. Продолжительность тления также была выше у образцов VKK-2 — на 8,3 с. При этом средняя потеря массы составила 11,89 % для VKK-1 и 12,72 % для VKK-2; различие составляет 0,83 процентного пункта.

По итогам лабораторных исследований обе композиции — VKK-1 и VKK-2 — при расходе не менее 1000 г/м² обеспечили получение II группы огнезащитной эффективности древесины по ГОСТ 16363-98 [4, с. 5].

Таблица 3.

Сравнительные показатели огнезащитных композиций VKK-1 и VKK-2

№ п/п	Показатель	VKK-1	VKK-2
1.	Количество испытанных образцов	10	10
2.	Подача источника зажигания, с	120	120
3.	Самостоятельное горение, среднее, с	37,0	44,9
4.	Тление, среднее, с	45,5	53,8
5.	Средняя потеря массы, %	11,89	12,72
6.	Расход состава, г/м ²	≥1000	≥1000
7.	Группа огнезащитной эффективности по ГОСТ 16363-98	II	II

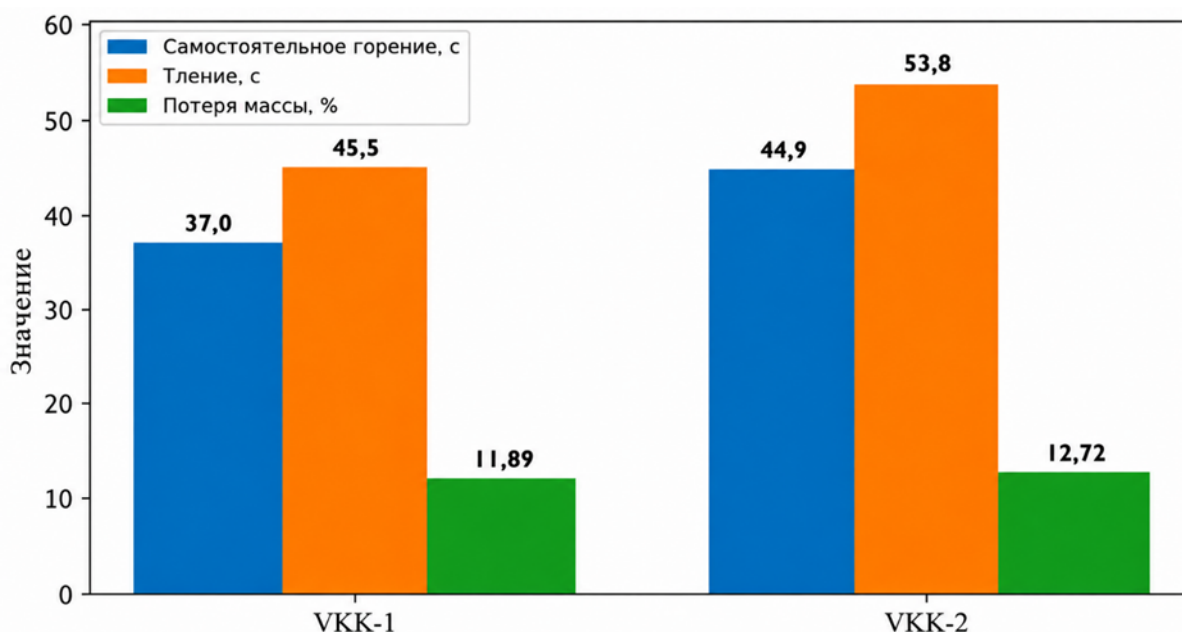


Рисунок 1. Сравнительные результаты испытаний композиций VKK-1 и VKK-2

Полученные результаты показывают, что композиция VKK-1 характеризуется несколько более низкими значениями продолжительности самостоятельного горения, тления и потери массы по сравнению с VKK-2. Наблюдаемое различие может быть связано с особенностями формирования защитного минерально-силикатного слоя на поверхности древесины и взаимодействием компонентов композиции при термическом воздействии. Формирование

такого слоя способствует ограничению тепломассопереноса между зоной горения и древесным материалом и, соответственно, снижению интенсивности его термического разложения.

Выводы

Проведены экспериментальные исследования огнезащитной эффективности разработанных коллоидных композиций на основе вермикулита VKK-1 и VKK-2 на древесных образцах. Для каждой композиции исследовано по 10 экспериментальных образцов, при этом время подачи источника зажигания составляло 120 с. Для состава VKK-1 среднее время самостоятельного горения составило 37,0 с, среднее время тления — 45,5 с, средняя потеря массы — 11,89 %. Для состава VKK-2 среднее время самостоятельного горения составило 44,9 с, среднее время тления — 53,8 с, средняя потеря массы — 12,72 %.

По совокупности исследованных показателей композиция VKK-1 продемонстрировала более благоприятные результаты по сравнению с VKK-2, характеризуясь меньшей продолжительностью самостоятельного горения и тления, а также меньшей средней потерей массы.

По результатам проведённых испытаний установлено, что разработанные композиции VKK-1 и VKK-2 при расходе не менее 1000 г/м² обеспечивают II группу огнезащитной эффективности древесины по ГОСТ 16363-98 [4, с. 5].

Полученные результаты подтверждают перспективность использования разработанных коллоидных композиций на основе вермикулита для повышения пожарной безопасности древесных конструкций и сооружений.

Список литературы

1. Арцыбашева О.В., Визгалова Г.И., Асеева Р.М., Серков Б.Б., Сивенков А.Б. Анализ способов и средств огнезащиты для снижения пожарной опасности и повышения огнестойкости деревянных конструкций // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2014. – № 3. – С. 13–20.
2. Афанасьев С.В., Коротков Р.В. Азотофосфорсодержащие антипирены пропитывающего действия для древесины // Пожаровзрывобезопасность. – 2012. – Т. 21, № 6. – С. 38–42.
3. Берлин А.А. Горение полимеров и полимерные материалы пониженной горючести // Соросовский образовательный журнал. – 1996. – № 9.
4. ГОСТ 16363-98. Средства огнезащитные для древесины. Методы определения огнезащитных свойств. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. – 6 с.
5. Колядова Т.Г., Мельников Н.О. Исследование эффективности огнезащитного лака для древесины // Успехи в химии и химической технологии. – 2015. – № 8. – С. 35–37.
6. Литяга А.В. Повышение пожарной безопасности полимерных материалов на основе антипиренов, содержащих силикатные композиции: дис. PhD. – Академия МЧС Республики Узбекистан. – 2022. – 80 с.

7. Сафин Р.Р., Гирфанов А.А., Сафина А.В. Исследование огнезащитной эффективности деревянных конструкций различного периода эксплуатации // Системы. Методы. Технологии. – 2023. – № 2 (58). – С. 107–112.
8. Трифонова О.Н. Химическая модификация древесины с целью снижения ее горючести // Пожаровзрывобезопасность. – 2008. – Т. 17, № 1. – С. 23–25.
9. Федотов И.О., Сивенков А.Б., Нагановский Ю.К. Эффективность огнезащитных пропиточных составов для деревянных конструкций // Проблемы управления рисками в техносфере. – 2023. – № 3. – С. 67–78.
10. Яковлева Р.А., Попов Ю.В., Саенко Н.В., Шевцова Е.Ю. Огнебиостойкие эпоксидные композиции для защиты древесины // Успехи в химии и химической технологии. – 2007. – Т. 21, № 6. – С. 23–28.
11. Ismailov, R.I., Khaidarov, I.N., Lityaga, A.V. and Khaidarov, F.A., 2024. Investigation of some properties of materials impregnated with fire-resistant compositions. In AIP Conference Proceedings (Vol. 3021, No. 1, P. 070009). AIP Publishing.

References

1. Artsybasheva O.V., Vizgalova G.I., Aseeva R.M., Serkov B.B., Sivenkov A.B. Analysis of methods and means of fire protection to reduce the fire hazard and increase the fire resistance of wooden structures // Fires and Emergencies: Prevention, Elimination. – 2014. – No. 3. – P. 13–20.
2. Afanasyev S.V., Korotkov R.V. Nitrogen-phosphorus-containing fire retardants of impregnating action for wood // Fire and Explosion Safety. – 2012. – Vol. 21, No. 6. – P. 38–42.
3. Berlin A.A. Combustion of polymers and low-flammability polymer materials // Soros Educational Journal. – 1996. – No. 9.
4. GOST 16363-98. Fire-retardant products for wood. Methods for determining fire-retardant properties. P. 6. – Moscow: IPK Izdatelstvo standartov, 2002.
5. Kolyadova T.G., Melnikov N.O. Investigation of the effectiveness of fire-retardant varnish for wood // Advances in Chemistry and Chemical Technology. – 2015. – No. 8. – P. 35–37.
6. Lityaga A.V. Improving fire safety of polymer materials based on flame retardants containing silicate compositions: PhD thesis. – Academy of EMERCOM of Uzbekistan. – P. 80. – 2022.
7. Safin R.R., Girfanov A.A., Safina A.V. Investigation of the fire-retardant efficiency of wooden structures of different service periods // Systems. Methods. Technologies. – 2023. – No. 2 (58). – P. 107–112.
8. Trifonova O.N. Chemical modification of wood to reduce its flammability // Fire and Explosion Safety. – 2008. – Vol. 17, No. 1. – P. 23–25.
9. Fedotov I.O., Sivenkov A.B., Naganovsky Yu.K. Effectiveness of fire-retardant impregnating compositions for wooden structures // Problems of Risk Management in the Technosphere. – 2023. – No. 3. – P. 67–78.

-
10. Yakovleva R.A., Popov Yu.V., Saenko N.V., Shevtsova E.Yu. Fire- and bioprotective epoxy compositions for wood protection // *Advances in Chemistry and Chemical Technology*. – 2007. – Vol. 21, No. 6. – P. 23–28.
 11. Ismailov R.I., Khaidarov I.N., Lityaga A.V. and Khaidarov F.A., 2024. Investigation of some properties of materials impregnated with fire-resistant compositions. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 3021, No. 1, P. 070009). AIP Publishing.