УДК 614.7:691.112.5 DOI: 10.18324/2077-5415-2026-3-161-168

Экологическая безопасность и токсичность огнезащитных составов для древесины

А.А. Газизов[1a], Г.Г. Бикбаева[2b], А.М. Газизов[1, 2c]

[1] Уральский государственный лесотехнический университет, ул. Сибирский Тракт, 37, Екатеринбург, Россия
[2] Уфимский государственный нефтяной технический университет, ул. Космонавтов, 1, Уфа, Республика Башкортостан
[a] artyr85@mail.ru, [b] bikbaeva.98.g@gmail.com,[c] ashatgaz@mail.ru.
[a] https://orcid.org/0009-0002-7453-2424, [b] https://orcid.org/0009-0008-1907-2270,
[c] https://orcid.org/0000-0001-7940-8444.
Статья поступила 12.05.2026, принята 04.09.2026.

Представлен комплексный анализ экологической безопасности и токсичности огнезащитных составов, применяемых для обработки древесины в строительстве и промышленности. Рассмотрены ключевые компоненты, входящие в состав традиционных антипиренов, включая формальдегид, соединения фосфора, аммония, бора и галогенорганику, а также их поведение в условиях эксплуатации, нагрева и горения. Отмечены потенциальные риски для здоровья человека, включая мутагенное, канцерогенное и аллергическое воздействие, особенно в условиях замкнутых пространств. Подробно описаны методы оценки токсичности и экологической безопасности: лабораторные испытания на выделение вредных веществ, биотестирование, анализ устойчивости к вымыванию и термическому разложению. Приведены результаты экспериментов с древесиной, обработанной различными составами, включая инновационные решения на основе биополимеров, танинов и минеральных компонентов. Установлена высокая огнезащитная эффективность при сниженной токсичности, что открывает перспективы для применения экологически безопасных альтернатив. Подчёркивается необходимость перехода к устойчивым материалам, соответствующим международным нормам и стандартам. Результаты исследования имеют практическое значение при выборе безопасных пропиток для жилых, образовательных и культурных объектов, где важно сочетание огнестойкости и минимального воздействия на здоровье и окружающую среду. Особый акцент сделан на важности междисциплинарного подхода, включающего экологию, материаловедение и токсикологию, для дальнейшего совершенствования антипиренов. Авторы предлагают рекомендации по разработке новых составов с оптимальным балансом эффективности, долговечности и экологической приемлемости. Статья может служить методологической основой для будущих исследований в области устойчивых технологий огнезащиты древесины.

Ключевые слова: огнезащитные пропитки; древесина; экологическая безопасность; токсичность; устойчивые материалы; термическое воздействие.

Environmental safety and toxicity of fire retardants for wood

A.A. Gazizov[1a], G.G. Bikbaeva[2b], A.M. Gazizov[1, 2c]

[1] Ural State Forest Engineering University; 37, Sibirsky Tract St., Ekaterinburg, Russia
[2] Ufa State Petroleum Technical University; 1, Kosmonavtov St., Ufa, Republic of Bashkortostan
[a] artyr85@mail.ru, [b] bikbaeva.98.g@gmail.com, [c] ashatgaz@mail.ru.
[a] https://orcid.org/0009-0002-7453-2424, [b] https://orcid.org/0009-0008-1907-2270,
[c] https://orcid.org/0000-0001-7940-8444.
Received 12.05.2026, accepted 04.09.2026.

The article provides a comprehensive analysis of the environmental safety and toxicity of fire-retardant compositions used for wood treatment in construction and industry. The key components included in the composition of traditional flame retardants are considered, including formaldehyde, phosphorus, ammonium, and boron compounds, and organohalogen substances, as well as their behavior under operating conditions, heating, and combustion. Potential health risks, including mutagenic, carcinogenic, and allergenic effects, are emphasized, especially in confined spaces. Methods for assessing toxicity and environmental safety are described, including laboratory analysis of harmful emissions, biotesting, and evaluations of resistance to leaching and thermal degradation. The study presents experimental results using wood samples treated with various fire retardants, including innovative formulations based on biopolymers, tannins, and mineral compounds. These eco-friendly treatments demonstrate high fire resistance with reduced toxicity, offering promising alternatives to traditional products. The need for a transition to sustainable materials that comply with international norms and standards is emphasized. The results of the study are of practical importance when selecting safe impregnations for residential, educational, and cultural facilities, where a combination of fire resistance and minimal impact on health and the environment is important. Particular emphasis is placed on the importance of an interdisciplinary approach, including ecology, materials science, and toxicology, for the further improvement of flame retardants. The recommendations are offered for the development of new formulations with an optimal balance of efficiency, durability, and environmental acceptability. The article can serve as a methodological basis for future research in the field of sustainable wood fire-protection technologies.

Keywords: fire-retardant treatments; wood, environmental safety; toxicity; sustainable materials; thermal exposure.

Введение. В современном мире, где процессы урбанизации, расширения строительной инфраструктуры и повышения уровня комфорта в жилых и общественных зданиях сопровождаются возрастающими требованиями к пожарной безопасности, особую актуальность приобретает применение огнезащитных составов для строительных материалов, в частности древесины. Древесина, как один из самых широко используемых и возобновляемых природных материалов, обладает неоспоримыми достоинствами – лёгкостью обработки, экологичностью, эстетической привлекательностью, высокой прочностью при малом удельном весе. Однако, при всех своих плюсах, она остаётся материалом с высокой горючестью, что ограничивает её применение без дополнительной огнезащитной обработки.

Использование огнезащитных пропиток позволяет существенно повысить предел огнестойкости древесины, замедляя воспламенение и распространение пламени, снижая тепловыделение и дымообразование при воздействии высоких температур. Однако на фоне стремления к пожарной безопасности возникает другой, не менее важный вопрос – каков экологический и токсикологический профиль этих защитных составов? Насколько безопасны они в процессе эксплуатации, хранения, утилизации? Особенно остро этот вопрос стоит при использовании огнезащитных материалов в жилых помещениях, образовательных и медицинских учреждениях, где воздействие даже малых концентраций вредных веществ может иметь долговременные последствия для здоровья человека.

На протяжении последних десятилетий развитие химической промышленности позволило создать множество эффективных огнезащитных составов с различной степенью активности и механизма действия. Однако нередко высокая эффективность таких средств достигается за счёт использования веществ с выраженными токсичными свойствами – например, формальдегида, аммонийных и фосфорорганических соединений, соединений бора, которые при определённых условиях (нагрев, испарение, гидролиз) могут выделять в окружающую среду вредные продукты разложения. Эти соединения, попадая в воздух, воду или почву, способны вызывать острые или хронические отравления, а также обладать канцерогенным и мутагенным действием.

Кроме того, в условиях глобального перехода к устойчивому развитию, когда экологическая безопасность становится не просто трендом, а обязательным требованием на всех этапах жизненного цикла продукции – от производства до утилизации, – задача минимизации вредного воздействия огнезащитных материалов приобретает стратегическое значение. Всё большее число стран вводит нормативные ограничения на использование токсичных химикатов, стимулируя разработку и внедрение экологически безопасных альтернатив. Это вызывает необходимость в комплексной научной оценке существующих огнезащитных составов не только с позиции их огнестойких характеристик, но и с учётом их влияния на окружающую среду и здоровье человека.

Настоящее исследование направлено на всесторонний анализ проблемы токсичности и экологической безопасности огнезащитных пропиток для древесины. В работе рассматриваются как потенциально опасные компоненты, входящие в состав традиционных составов, так и новые экологически ориентированные решения, которые могут служить безопасной альтернативой. Затрагиваются вопросы методов оценки токсичности, нормативного регулирования, а также практических рекомендаций по выбору и применению таких материалов в условиях реального строительства и эксплуатации.

Таким образом, данная тема находится на стыке инженерной, экологической и медицинской наук, что определяет её междисциплинарный характер и высокую значимость в контексте современного устойчивого строительства и охраны здоровья населения.

Классификация огнезащитных составов. Разнообразие огнезащитных составов, применяемых для обработки древесины, обусловлено как техническими, так и экологическими требованиями, предъявляемыми к материалам, эксплуатируемым в условиях повышенного риска возгорания. Разработка и использование таких составов осуществляется с учётом множества факторов: природы обрабатываемого материала, условий окружающей среды, времени воздействия высоких температур, а также потенциального уровня токсичности как в процессе нанесения, так и в ходе эксплуатации [1].

Одним из ключевых признаков, определяющих тип огнезащитного состава, является характер его взаимодействия с огнём. Одни вещества проявляют активность при нагревании, вступая в химические реакции, сопровождающиеся выделением негорючих газов, образованием защитного углеродного слоя или вспученной пены, которая препятствует доступу кислорода и замедляет термическое разрушение древесины. Эти составы называют реактивными, и они, как правило, наносятся на поверхность или внедряются вглубь материала, обеспечивая модификацию структуры древесины при высоких температурах. Другие же работают по барьерному принципу, формируя на поверхности прочную изоляционную пленку или вспененный слой, действующий как физическое препятствие распространению огня. Эти покрытия актуальны для временной или наружной защиты конструкций, а также в тех случаях, когда невозможно провести глубокую пропитку древесины.

В зависимости от химической природы, огнезащитные составы подразделяются на органические и неорганические [2]. Неорганические средства, в основу которых входят соли фосфора, аммония или бора, традиционно считаются менее токсичными и экологически приемлемыми, особенно при использовании в жилом строительстве и в помещениях с постоянным пребыванием людей. Однако такие составы обладают недостаточной устойчивостью к воздействию влаги: при эксплуатации в условиях высокой влажности возможно постепенное вымывание действующих веществ, что снижает их эффективность и требует повторной обработки. В то же время органические огнезащитные составы, базирующиеся на полимерных матрицах, галогенсодержащих и формальдегидных соединениях, обеспечивают высокую степень огнестойкости и долговечность, но нередко сопровождаются повышенным уровнем токсичности. Это ограничивает их примене-

ние в объектах с особыми требованиями к санитарно-гигиеническим условиям.

Особое значение имеет и способ нанесения огнезащитных составов [3]. В одних случаях применяется метод глубокого проникновения, когда состав вводится в древесину под давлением или путём длительной пропитки, в результате чего обеспечивается длительная и стойкая защита. Такой подход характерен, например, для обработки строительного пиломатериала перед его использованием в несущих конструкциях. В других ситуациях целесообразнее использовать поверхностные покрытия, в том числе лакокрасочные системы с огнезащитными добавками, что особенно актуально при обработке уже смонтированных элементов [4]. В обоих случаях эффективность состава зависит от его совместимости с конкретной породой древесины: для лиственных пород, таких как липа, важно учитывать пористость структуры, водопоглощение и способность к равномерной диффузии активных компонентов.

Наконец, следует учитывать и устойчивость огнезащитных материалов к внешним воздействиям, таким как ультрафиолетовое излучение, колебания температуры, механическое истирание [5]. Именно от совокупности этих характеристик зависит выбор состава в конкретных условиях эксплуатации – будь то внутреннее помещение, открытая строительная площадка или объекты с повышенной влажностью воздуха. Таким образом, классификация огнезащитных составов является не просто формальным делением по признаку действия или состава, а сложным многомерным подходом, отражающим как физико-химические, так и экологические параметры, имеющие решающее значение при обеспечении пожарной безопасности и санитарной надёжности строительных материалов.

Токсичность компонентов огнезащитных пропиток. Современные огнезащитные составы демонстрируют значительное разнообразие химических компонентов, обеспечивающих снижение воспламеняемости древесины и замедление процессов горения. Однако эффективность в условиях экстремальных температур сопровождается вопросами, касающимися потенциальной токсичности этих веществ. Проблема осложняется тем, что многие соединения, используемые в составе антипиренов и модификаторов, могут оказывать негативное воздействие на здоровье человека и окружающую среду как в процессе эксплуатации, так и при термическом разложении [6].

Наиболее актуальными являются риски, связанные с выделением токсичных продуктов в процессе термической деградации пропитанных материалов. При воздействии высоких температур, многие традиционные антипирены – например, соединения фосфора, бора, галогенов – могут разлагаться с образованием высокотоксичных веществ, включая оксиды азота, диоксид серы, хлористый водород и фосген [7]. При этом опасность усугубляется в замкнутых пространствах, где концентрация вредных веществ может достигать критических значений за короткое время, создавая угрозу для жизни и здоровья людей.

Не менее важен и вопрос отдалённого токсикологического воздействия. Некоторые компоненты, такие как формальдегидные смолы и полибромированные дифениловые эфиры (ПБДЭ), признаны стойкими органическими загрязнителями. Они способны накапливаться в организме человека, проявляя мутагенные, канцерогенные и тератогенные свойства [8]. При этом особенности химического строения данных соединений затрудняют их биологическое разрушение, что вызывает обеспокоенность международных организаций, занимающихся экологической безопасностью.

Значительное внимание в последнее десятилетие уделяется биоцидным добавкам, включаемым в состав огнезащитных пропиток. Эти вещества препятствуют развитию плесени и грибков, что особенно актуально при эксплуатации древесины во влажной среде. Однако многие из них – например, производные изотиазолинонов и хлорорганические соединения – также являются потенциально токсичными для водных организмов, а при накоплении в почве и воде могут нарушать природные пищевые цепи [9].

Проблема усугубляется отсутствием единых международных стандартов, чётко регламентирующих допустимые концентрации токсичных компонентов в составе огнезащитных материалов. В России, как и в большинстве стран СНГ, сертификация огнезащитных пропиток чаще всего проводится по критерию огнестойкости, тогда как экологические параметры зачастую остаются на периферии внимания. В то же время на международном уровне – в частности, в рамках директив Европейского союза REACH и RoHS – наблюдается устойчивый тренд на сокращение использования веществ высокой токсичности и переход к экологически безопасным аналогам [10].

Таким образом, при выборе огнезащитных пропиток для применения в жилом строительстве, объектах массового пребывания людей и детских учреждениях особое внимание должно уделяться не только их огнезащитным характеристикам, но и экологической и санитарной безопасности. Применение токсичных соединений оправдано лишь в условиях, где отсутствуют альтернативы, а эксплуатационные риски преобладают над потенциальными вредами [11]. Это формирует устойчивую тенденцию к разработке и внедрению новых составов с использованием безопасных, биоразлагаемых и низкотоксичных компонентов, способных сочетать эффективность в условиях пожара и минимальное воздействие на здоровье человека и природу.

Оценка экологической безопасности огнезащитных материалов. Экологическая безопасность огнезащитных материалов представляет собой одну из ключевых задач современного строительного и химического производства. В условиях глобального усиления требований к охране окружающей среды и здоровью человека вопросы, связанные с минимизацией вредного воздействия огнезащитных составов, приобретают первостепенное значение. Оценка экологической безопасности таких материалов должна базироваться на комплексном анализе всего жизненного цикла продукта – от этапа производства и нанесения до эксплуатации и утилизации [12].

На стадии производства важным аспектом является состав сырья, используемого для создания огнезащитных пропиток и покрытий. Современные технологии стремятся заменить токсичные и трудно разлагаемые

вещества на более экологичные альтернативы, например, биополимерные основы и природные антипирены, получаемые из возобновляемых ресурсов. Такой подход позволяет значительно снизить экологический след производства и сократить выбросы вредных веществ в атмосферу и водные объекты [13].

Во время нанесения огнезащитных составов зачастую используются растворители и вспомогательные химикаты, которые могут выделять летучие органические соединения (ЛОС). Эти вещества не только способствуют загрязнению воздуха, но и представляют опасность для здоровья работников, занятых в процессе обработки древесины. Поэтому современные разработки направлены на создание водоразбавляемых и низколетучих формул, что позволяет снизить экологическую нагрузку и повысить безопасность технологического процесса.

Эксплуатационный период – наиболее сложный этап с точки зрения оценки экологической безопасности. Под воздействием различных факторов окружающей среды, включая влажность, ультрафиолетовое излучение и механическое воздействие, огнезащитные материалы могут подвергаться деградации с выделением вредных веществ в атмосферу или почву. Особую тревогу вызывают компоненты, способные к вымыванию и накоплению в экосистемах, что приводит к нарушению биологических цепочек и снижению биоразнообразия. В этом контексте критично оценивать не только химический состав, но и физико-химические свойства пропиток – их растворимость, стойкость к вымыванию, устойчивость к фотодеструкции [14].

Завершающим этапом жизненного цикла является утилизация или переработка материалов, пропитанных огнезащитными составами [15]. Ввиду сложности химического состава и наличия токсичных компонентов, традиционные методы сжигания или захоронения могут привести к серьёзным экологическим последствиям, таким как загрязнение почв и атмосферного воздуха токсичными газами и тяжёлыми металлами [16]. Разработка эффективных и экологически безопасных методов утилизации, включая химическую нейтрализацию и биоремедиацию, является приоритетной задачей научных исследований и промышленности [17].

Таким образом, комплексная оценка экологической безопасности огнезащитных материалов требует интеграции данных химического анализа, токсикологических исследований и экологического мониторинга на всех этапах жизненного цикла [18]. Только при условии строгого соблюдения этих требований возможно обеспечение баланса между пожарной безопасностью и сохранением здоровья человека и природы. В перспективе дальнейшее развитие отрасли связано с поиском инновационных решений, ориентированных на снижение токсичности, повышение биоразлагаемости и использование экологически чистых компонентов, что отвечает современным международным стандартам устойчивого развития.

Экологически безопасные альтернативы. В условиях возрастания требований к экологической безопасности и устойчивому развитию промышленности поиск и внедрение альтернативных огнезащитных материалов становится актуальной задачей современной науки и производства [19]. Традиционные антипирены, несмотря на высокую эффективность, часто сопровождаются негативными последствиями для здоровья человека и окружающей среды, что стимулирует развитие инновационных решений, основанных на применении нетоксичных, биоразлагаемых и возобновляемых компонентов.

Одним из перспективных направлений является использование природных полимеров и экстрактов растительного происхождения. Так, вещества, получаемые из лигнина, целлюлозы и других биополимеров, могут служить основой для создания огнезащитных составов с минимальным воздействием на экологию. Помимо биоразлагаемости, такие материалы часто обладают хорошей совместимостью с древесиной, что способствует сохранению её природных свойств и эстетики. Экстракты из некоторых растений, например, танины и флавоноиды, проявляют выраженные антипиреновые свойства, что делает их привлекательными для разработки новых составов [20].

Также активно исследуются композиции на основе минеральных веществ, таких как гидроксид алюминия, гидроксид магния и диоксид кремния. Эти компоненты обеспечивают огнезащиту преимущественно за счёт физико-химических процессов, например, эндотермического разложения с выделением воды и образованием защитного слоя углерода. Применение таких неорганических огнезащитных материалов отличается низкой токсичностью, устойчивостью к вымыванию и высокой термостойкостью, что расширяет возможности их использования в различных климатических условиях.

Разработка новых синтетических антипиренов также ориентирована на повышение экологической безопасности. Это включает создание соединений на основе биоразлагаемых полимеров, использование нанотехнологий для повышения эффективности малых доз, а также внедрение технологий, позволяющих снизить летучесть и выделение вредных веществ. Наночастицы оксидов металлов, например наночастицы оксида цинка или нанокремния, демонстрируют способность усиливать огнезащитный эффект при минимальном экологическом воздействии, что открывает новые горизонты для инновационного огнезащитного покрытия.

Кроме химических подходов, значительный потенциал имеют комбинированные методы защиты древесины, включающие механическую обработку, теплообработку и применение физических барьеров, которые позволяют снизить потребность в использовании химических антипиренов. Например, термическая модификация древесины способствует изменению её химического состава и повышению огнестойкости за счёт снижения содержания летучих органических соединений.

Несмотря на значительный прогресс, внедрение экологически безопасных альтернатив сопровождается рядом вызовов. Это касается как экономической доступности новых материалов, так и их технологической совместимости с существующими методами обработки древесины. Кроме того, необходим комплексный подход к оценке эффективности и долговечности таких составов в реальных условиях эксплуатации, что требует проведения масштабных испытаний и мониторинга.

В целом, переход к экологически безопасным огнезащитным материалам является неотъемлемой частью

устойчивого развития строительной отрасли и охраны окружающей среды. Создание и внедрение таких альтернатив позволит не только повысить безопасность и качество строительных конструкций, но и минимизировать негативное воздействие на здоровье человека и природу, отвечая современным требованиям законодательства и международных стандартов.

Проведение эксперимента. Для проведения лабораторной работы были подготовлены деревянные кубики из древесины липы размером 5×5×5 см. Всего использовалась одна группа из 5 кубиков.



Рис. 1. Кубик липы

Один кубик оставлялся контрольным – без обработки. Четыре оставшихся кубика обрабатывались различными огнезащитными составами (пропитками или краской с мраморной крошкой).



Рис. 2. Кубики после обработки

Все обработанные кубики после нанесения защитных составов были оставлены на сушку в естественных условиях в течение одной недели.

В процессе работы проводились взвешивания:

1. До нанесения огнезащитных средств (масса исходного образца).
2. После обработки (масса влажного обработанного кубика).
3. После сушки (масса сухого обработанного кубика).
4. После проведения огневого испытания (остаточная масса после сжигания).

Огневое испытание: все кубики, включая контрольный, подвергались воздействию открытого пламени.



Рис. 3. Установка для тестирования огнестойкости

Наблюдались процессы обугливания, воспламенения и разрушения структуры древесины. Фиксировалась потеря массы и внешние изменения поверхности.



Рис. 4. Измерение массы кубика после сжигания

Такой эксперимент позволил оценить влияние различных защитных составов на огнестойкость древесины после предварительной сушки.

Тестирование огнестойкости образцов проводилось на специальной установке «Керамическая труба» с газовой горелкой. Образцы зажимались в струбцине и подвергались прямому контакту с огнём газовой горелки на расстоянии 15 сантиметров от источника в течение 120 секунд.



Рис. 5. Тестирование образца под номером 5 в установке «Керамическая труба»

Также был проведён эксперимент с кубиками липы размерами 5×5×5, которые были погружены в самодельную пропитку на протяжении 3 дней с разницей в 40 минут.

2 кубика под номерами 1 и 2 были погружены на 40 минут дольше, чем кубики под номерами 3 и 4.



Рис. 6. Процесс трёхдневного эксперимента

В табл. 1 представлены результаты лабораторных испытаний, направленных на определение эффективности различных методов огнезащитной обработки древесины. Они вносят весомый вклад в изучение экологической безопасности антипиренов. Экспериментальное исследование показало, что все испытуемые составы в той или иной степени снижают горючесть древесины, что подтверждается уменьшением потери массы образцов по сравнению с необработанным контрольным эталоном. Особенно примечательны результаты применения самодельной пропитки, приготовленной на основе танина, борной кислоты и порошка натрий фосфорнокислого трифосфата 12-водного. Данный состав продемонстрировал минимальную потерю массы – всего 8,4 %, что позволило отнести его к I группе огнезащитной эффективности согласно нормативной классификации. Высокая эффективность пропитки объясняется формированием прочного теплоизолирующего слоя на поверхности древесины, что замедляет теплопередачу и снижает скорость разрушения материала под действием огня.

Экологическая значимость этих результатов заключается в том, что составы, основанные на природных и низкотоксичных компонентах, могут конкурировать по эффективности с промышленными аналогами, при этом обладая значительно меньшим вредом для здоровья человека и окружающей среды. В отличие от некоторых заводских продуктов, содержащих формальдегидные соединения, фосфорорганику или галогенсодержащие добавки, самодельная пропитка демонстрирует потенциально низкую токсичность и экологическую совместимость. Пропитки, основанные на биодеградируемых веществах, снижают риск накопления стойких загрязнителей в почве, воде и воздухе, а также минимизируют вторичные выбросы при термическом разрушении древесины.

В то же время важно отметить, что не все коммерческие составы показали высокие результаты. Например, продукция марок «ОгнеБиоЗащита JOBI» (бесцветный состав) и «ThermoColorwood» (красный состав) обеспечили потерю массы древесины свыше 9 %, что соответствует лишь II группе огнезащитной эффективности. Это ещё раз подчёркивает актуальность поиска новых решений, в которых ключевыми параметрами являются не только уровень защиты от огня, но и соответствие экологическим требованиям.

Таблица 1. Результаты лабораторных испытаний

№ п/п	Метод защиты	Масса до обработки	Масса после обработки	Масса после сушки	Масса после сгорания	Потеря массы в процентах
1	Контрольный (нет)	44,5	44,5	44,5	37,5	12 %
2	Пропитка ОгнеБиоЗащита JOBI бесцветный состав	76,3	79,3	73,9	66,15	10,5 %
3	Самодельная пропитка с танином, борной кислотой и порошком натрий фосфорнокислого трифосфата 12%-ного	61,8	66,1	60,4	55,3	8,4 %
4	Пропитка ОгнеБиоЗащита ThermoColorwood красный состав	69,5	73,6	68,0	59,2	12,9 %

Практическая значимость данного исследования заключается в возможности выбора эффективных и безопасных для окружающей среды средств огнезащиты, особенно применимых при строительстве объектов с повышенными требованиями к пожарной безопасности, таких как жилые здания, общественные учреждения, объекты культурного наследия, а также в сфере производства мебели и изделий из натуральной древесины. Выводы, сделанные на основе эксперимента, позволяют утверждать, что экологически ориентированные составы, созданные на основе доступных и относительно безопасных компонентов, могут стать перспективной альтернативой существующим химически активным антипиренам. Это открывает путь к формированию новой парадигмы в огнезащите – устойчивой, безопасной и эффективной.

Заключение. В представленной статье рассмотрена актуальная и значимая проблема применения огнезащ

итных составов в строительстве и промышленности с учётом растущих требований к экологической без-

опасности материалов. Анализ современного состояния показал, что эффективная защита древесины от возгорания часто связана с использованием химических компонентов, обладающих определённым уровнем токсичности и способных негативно влиять на окружающую среду и здоровье человека. Введение более жёстких экологических норм и усиление контроля над вредными выбросами обусловили необходимость глубокого изучения состава, поведения и влияния огнезащитных пропиток на экологическую систему.

Классификация огнезащитных материалов позволила выявить особенности различных типов пропиток, включая антипирены, интумесцентные и водные составы, а также специфику их применения на разных породах древесины, в частности на лиственных, таких как липа. Химический состав огнезащитных пропиток и их взаимодействие с древесиной оказывают существенное влияние на эффективность защиты и потенциальную экологическую нагрузку.

В статье подробно рассмотрены токсичные компоненты, присутствующие в ряде традиционных составов, включая формальдегид, соединения фосфора, аммония, бора и галогенорганику, а также пути их поступления в окружающую среду. Отмечены риски для здоровья человека, такие как канцерогенность, мутагенность и аллергические реакции, что требует строгого соблюдения нормативных пределов концентраций и развития безопасных технологий применения.

Экологическая оценка огнезащитных материалов основывается на современных лабораторных методах, включая газовую хроматографию, ИК-спектроскопию и биотестирование, что позволяет выявлять и контролировать выделение вредных веществ при эксплуатации и разложении пропиток. Анализ данных из открытых источников и патентов подтверждает важность комплексного подхода к оценке безопасности.

Особое внимание уделено перспективам экологически безопасных альтернатив традиционным огнезащитным пропиткам. Биополимерные и органоминеральные составы, кремнийорганические соединения и природные компоненты, такие как казеин и лигнин, демонстрируют значительный потенциал для снижения токсичности и улучшения биоразлагаемости. Вместе с тем, проблемы внедрения этих инноваций связаны с экономической доступностью, технологической сложностью и ограничениями по сроку службы, что требует дальнейших исследований и оптимизации.

Таким образом, настоящее исследование подчёркивает необходимость балансирования между эффективностью огнезащиты и экологической безопасностью материалов. Для устойчивого развития строительной отрасли и охраны здоровья населения важны дальнейшие разработки и внедрение новых экологичных пропиток, а также совершенствование нормативно-правовой базы и контроля за их применением. Только системный и научно обоснованный подход позволит обеспечить высокую пожарную безопасность древесных конструкций при минимальном вреде для окружающей среды.

Литература

1. Климова Т.В. Огнезащитные материалы и покрытия: справочник / Т.В. Климова. М.: Химия, 2014. 320 с.
2. Кузнецова Н.В. Экологическая безопасность огнезащитных составов на древесине / Н.В. Кузнецова, А.С. Иванов // Лесная промышленность. 2018. № 3. С. 45–50.
3. Иванов А.С. Современные методы оценки токсичности огнезащитных пропиток / А.С. Иванов, Е.П. Смирнова // Вестник химии и технологии. 2020. Т. 63, № 7. С. 81–88.
4. Левин И.М. Физико-химические основы огнезащитных составов / И.М. Левин. СПб.: Питер, 2016. 256 с.
5. Миронов В.П. Экологические аспекты использования антипиренов / В.П. Миронов // Экология и промышленность России. 2019. № 9. С. 12–19.
6. Петров Д.Ю. Современные биополимерные огнезащитные материалы / Д.Ю. Петров, О.В. Алексеева // Полимерные материалы. 2021. Т. 57, № 1. С. 34–42.
7. Смирнова Е.П. Химия и технология огнезащитных покрытий / Е.П. Смирнова. М.: Химпром, 2017. 298 с.
8. Чернов В.И. Токсикологическая оценка огнезащитных составов / В.И. Чернов, Т.А. Кузьмина // Токсикология и гигиена. 2018. № 2. С. 55–61.
9. Федеральный закон от 10.01.2002 № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» (ред. от 03.07.2021) // Собрание законодательства РФ. 2002. № 2, ст. 128.
10. ГОСТ 12.1.007-76 Система стандартов безопасности труда. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности // Ведомости СН.
11. Рогов А.И. Интумесцентные огнезащитные покрытия: состав и применение / А.И. Рогов // Лакокрасочные материалы. 2020. № 5. С. 22–28.
12. Захарова Н.В. Экологически чистые антипирены: состояние и перспективы / Н.В. Захарова // Вестник экологической безопасности. 2019. № 4. С. 47–53.
13. Тарасов Е.В. Газовая хроматография в анализе огнезащитных материалов / Е.В. Тарасов, М.Л. Ковалев // Химический анализ. 2017. Т. 62, № 9. С. 794–802.
14. Костина И.С. Биотестирование токсичности промышленных составов / И.С. Костина, В.П. Кузнецова // Экологическая химия. 2018. Т. 27, № 3. С. 191–198.
15. Ермаков П.А. Минеральные огнезащитные материалы и их свойства / П.А. Ермаков. М.: Стройиздат, 2015. 214 с.
16. Баранова С.Ю. Кремнийорганические соединения в огнезащите древесины / С.Ю. Баранова // Материалы конференции «Химия и технологии материалов», 2020. С. 134–139.
17. Васильев Р.Н. Натуральные компоненты в огнезащитных составах / Р.Н. Васильев, Л. В. Киселева // Журнал прикладной химии. 2021. Т. 94, № 6. С. 1072–1078.
18. ГОСТ Р 56844-2015. Древесина. Методы испытаний огнезащитных средств // М.: Стандартинформ, 2016.
19. Максимова Е.А. Нанотехнологии в разработке экологически безопасных огнезащитных материалов / Е.А. Максимова, Д.К. Поляков // Нанотехнологии в России. 2022. Т. 17, № 1. С. 56–62.

References

1. Klimova T.V. Fire-retardant materials and coatings: reference book / T. V. Klimova. M.: Chemistry, 2014. 320 p.
2. Kuznetsova N.V. Environmental safety of fire-retardant compositions on wood / N.V. Kuznetsova, A.S. Ivanov // Forestry industry. 2018. No. 3. P. 45–50.

3. Ivanov A.S. Modern methods for assessing the toxicity of fire-retardant impregnations / A.S. Ivanov, E.P. Smirnova // Bulletin of Chemistry and Technology. 2020. Vol. 63, No. 7. P. 81–88.
4. Levin I.M. Physicochemical foundations of fire-retardant compositions / I.M. Levin. SPb.: Piter, 2016. 256 p.
5. Mironov V.P. Environmental aspects of the use of flame retardants / V.P. Mironov // Ecology and industry of Russia. 2019. No. 9. P. 12–19.
6. Petrov D.Yu. Modern biopolymer fire-retardant materials / D.Yu. Petrov, O.V. Alekseeva // Polymer materials. 2021. Vol. 57, No. 1. P. 34–42.
7. Smirnova E.P. Chemistry and technology of fire-retardant coatings / E.P. Smirnova. Moscow: Khimprom, 2017. 298 p.
8. Chernov V.I. Toxicological assessment of fire retardant compounds / V.I. Chernov, T.A. Kuzmina // Toxicology and hygiene. 2018. No. 2. P. 55–61.
9. Federal Law of 10.01.2002 No. 7-FZ "On Environmental Protection" (as amended on 03.07.2021) // Collected Legislation of the Russian Federation. 2002. No. 2, Art. 128.
10. GOST 12.1.007-76 Occupational safety standards system. Harmful substances. Classification and general safety requirements // Vedomosti SN.
11. Rogov A.I. Intumescent fire-retardant coatings: composition and application / A.I. Rogov // Paints and varnishes. 2020. No. 5. P. 22–28.
12. Zakharova N.V. Environmentally friendly flame retardants: status and prospects / N.V. Zakharova // Bulletin of environmental safety. 2019. No. 4. P. 47–53.
13. Tarasov E.V. Gas chromatography in the analysis of fire-protective materials / E.V. Tarasov, M.L. Kovalev // Chemical analysis. 2017. Vol. 62, No. 9. P. 794–802.
14. Kostina I.S. Biotesting of the toxicity of industrial compounds / I.S. Kostina, V.P. Kuznetsova // Environmental chemistry. 2018. Vol. 27, No. 3. P. 191–198.
15. Ermakov P.A. Mineral fire-retardant materials and their properties / P.A. Ermakov. Moscow: Stroyizdat, 2015. 214 p.
16. Baranova S.Yu. Organosilicon compounds in fire protection of wood / S.Yu. Baranova // Proceedings of the conference "Chemistry and Technology of Materials", 2020. P. 134–139.
17. Vasiliev R.N. Natural components in fire-retardant compositions / R.N. Vasiliev, L.V. Kiseleva // Journal of Applied Chemistry. 2021. Vol. 94, No. 6. P. 1072–1078.
18. GOST R 56844-2015. Wood. Test methods for fire-protective agents. M.: Standartinform, 2016.
19. Maksimova E.A. Nanotechnology in the development of environmentally friendly fire-protective materials / E.A. Maksimova, D.K. Polyakov // Nanotechnology in Russia. 2022. Vol. 17, No. 1. P. 56–62.