УДК 614.841.2
DOI 10.47367/0021-3497_2025_2_310

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО СТАРЕНИЯ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ ИЗ ПЕНОПОЛИСТИРОЛА НА ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТИ ТЕКСТИЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

ASSESSMENT OF THE IMPACT OF OPERATIONAL AGING OF EXPANDED POLYSTYRENE THERMAL INSULATION ON ENSURING FIRE AND EXPLOSION SAFETY OF TEXTILE ENTERPRISES

С.Н. УЛЬЕВА, А.Л. НИКИФОРОВ, И.А. БОГДАНОВ, А.А. КРАСНОВ

S.N. ULYEVA, A.L. NIKIFOROV, I.A. BOGDANOV, A.A. KRASNOV

(Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России)

(Ivanovo Fire and Rescue Academy of the SFC of EMERCOM of Russia)

E-mail: jivotjagina@mail.ru, anikiforoff@list.ru, i.a.bogdanov@bk.ru, krasnow.a.a@mail.ru.

Статья посвящена исследованию влияния эксплуатационного старения на пожарную опасность пенополистирола, который активно применяется при строительстве зданий и сооружений современных текстильных предприятий. В статье проанализировано влияние эксплуатационных факторов на изменение физико-механических, диэлектрических и пожароопасных свойств материала. Анализ проведен на основании данных, представленных в открытой печати. Сформулированы перспективные научно-технические задачи исследований в области обеспечения пожарной безопасности пенополистирола в условиях эксплуатации.

The article is devoted to the study of the effect of operational aging on the fire hazard of expanded polystyrene, which is actively used in the construction of buildings and structures of modern textile enterprises. The article analyzes the influence of operational factors on changes in the physico-mechanical, dielectric and fire-hazardous properties of the material. The analysis is based on the data presented in the open press. Promising scientific and technical research objectives in the field of fire safety of expanded polystyrene under operating conditions are formulated.

Ключевые слова: пожарная безопасность, пенополистирол, эксплуатационное старение, накопление статических разрядов, показатели пожарной опасности, современные текстильные предприятия.

Keywords: fire safety, expanded polystyrene, operational aging, accumulation of static discharges, fire hazard indicators, modern textile enterprises.

Современные экономические условия создали предпосылки к возникновению малых текстильных предприятий, ориентированных на выпуск небольших объемов изделий, начиная от производства суровых тканей до готовой одежды. Часто организация производства осуществляется в зданиях, выполненных в виде металлического каркаса с использованием различных утеплителей [1].

Металлокаркасные здания благодаря своей высокой прочности и легкости становятся все более популярными. Однако для обеспечения комфортного микроклимата и энергоэффективности таких сооружений необходимо применение качественных

утеплителей. Основными материалами, которые используются для утепления металлокаркасных зданий, являются: минеральная вата, полиуретановая пена, пенополистирол, натуральные утеплители [2].

Выбор утеплителя для металлокаркасных зданий зависит от множества факторов, включая климатические условия, требования к энергоэффективности и бюджет проекта. Каждый из перечисленных материалов имеет свои преимущества и недостатки, что требует тщательного анализа при принятии решения о его использовании. Эффективное применение утеплителей не только способствует снижению теплопотерь, но и увеличивает срок службы здания в целом [3].

Минеральная вата, производимая на основе базальтовых или стеклянных волокон, является одним из наиболее распространенных утеплителей для металлокаркасных конструкций. Она обладает высокими теплоизоляционными свойствами, огнестойкостью и звукоизоляцией. Минеральная вата устойчива к воздействию влаги, что делает ее подходящей для использования в различных климатических условиях. Однако при неправильной установке может возникнуть риск образования «мостиков холода», которые представляют собой локализованные области в строительных конструкциях, через которые происходит неконтролируемая теплопередача. Эти феномены возникают вследствие наличия материалов с различной теплопроводностью или вследствие дефектов в системе теплоизоляции, проявляющихся в местах сопряжения конструктивных элементов [4].

Полиуретановая пена – это современный утеплитель, который характеризуется высокой теплоизоляцией при малом весе. Она применяется как в виде жестких плит, так и в виде распыляемого материала. Полиуретан обладает хорошей адгезией к различным поверхностям и может заполнять все неровности конструкции, что минимизирует возможность образования теплопотерь. Однако необходимо учитывать его чувствительность к ультрафиолетовому излучению и необходимость защиты от механических повреждений [5].

Среди экологически чистых материалов можно выделить такие утеплители, как древесные волокна, льняные и конопляные плиты. Эти материалы обладают хорошими теплоизоляционными свойствами и являются биологически разлагаемыми. Однако их использование может быть ограничено из-за более высокой стоимости и требований к защите от влаги и насекомых [6].

Пенополистирол (ППС) – это легкий и эффективный теплоизоляционный материал, получаемый путем вспенивания полистирольной смолы. Он обладает низкой теплопроводностью, что делает его высокоэффективным утеплителем. Материал имеет малый вес, что упрощает его транспортировку и монтаж. Плиты пенополистирола легко резать и подгонять под необходимые размеры. Он практически не впитывает влагу, что предотвращает образование плесени и гнили, а также способствует долговечности конструкции. Пенополистирол не подвержен гниению и воздействию насекомых, что увеличивает срок службы утеплителя. Стоимость пенополистирола относительно невысока по сравнению с другими утеплителями, что делает его доступным для широкого круга потребителей [7].

За счет сочетания большого количества положительных качеств и низкой себестоимости пенополистирол получил наиболее широкое распространение при строительстве современных зданий текстильных предприятий. В табл. 1 приведены основные марки пенополистирола, представленные на рынке Российской Федерации [8].

Текстильные производства сопряжены с возможностью создания в атмосфере цеха взрывоопасных концентраций пыли и волокон [9]. При нарушении требований охраны труда и безопасности источником зажигания может стать: электрооборудование и электропроводки; узлы и механизмы производственного оборудования, разогретые от трения; фрикционные искры; проявления статического электричества [10].

Таблица 1

Наименование компонентов	Содержание компонентов в марках пенополистирола, %						
	ПС-1	ПС-2	ПС-4	ПС-5	ПС-18	ПС-254	ПС-БСГ
Полистирол	95-98	93-95	93-95	92	95	95	94
Диазоаминобензол	2-5	-	-	-	-	-	-
Карбонат аммония	-	-	3-4	-	-	-	-
Этиловый спирт	-	-	2-3	-	-	-	-
Порофор ЧХЗ-57	-	5-7	-	-	-	-	-
Порофор 5	-	-	-	8	-	-	-
Порофор 18	-	-	-	-	5	-	-
Порофор 254	-	-	-	-	-	5	-
Порофор БСГ	-	-	-	-	-	-	6

Предотвращение возникновения статического электричества обеспечивает как выбор технологического оборудования, так и выбор строительных материалов [11]. Сэндвич-панели с пенополистиролом способны накапливать статические разряды электричества [12]. При разработке превентивных мероприятий, направленных на снятие статического разряда, не учитывается изменение диэлектрических свойств пенополистирола под воздействием эксплуатационного старения, что приводит к повышению рисков возникновения пожаров и взрывов на текстильных производствах [13]. Изменение физико-механических свойств пенополистирола при эксплуатационном старении также может оказывать влияние на показатели его пожарной опасности [14].

Целью исследования являлась оценка влияния эксплуатационного старения на диэлектрические свойства и показатели пожарной опасности пенополистирола.

Пенополистирол получают из полистирола. Полистирол – это синтетический термопластичный полимер, который получают путем полимеризации мономера стирола (рис. 1).

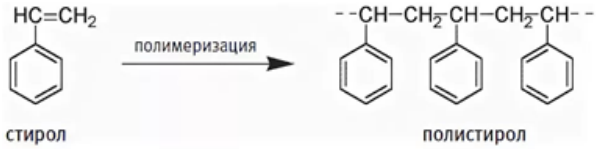

Рис. 1

Полистирол представляет собой термопластичный материал с высокими диэлектрическими показателями. Он химически стоек, водостоек, бесцветен, прозрачен, растворяется в ароматических и хлорированных углеводородах, простых и сложных эфирах. Однако полистирол имеет низкую механическую прочность и более стоек к воздействию радиации по сравнению с другими термопластами. Его недостатки – низкая теплостойкость, склонность к старению и растрескиванию. Длительная обработка полистирола при температуре выше 200 °С в присутствии кислорода воздуха приводит к его деструкции. Для улучшения свойств полистирола его сополимеризуют с различными виниловыми мономерами. Особенно важное значение имеют привитые и блок-сополимеры стирола с каучуками, обладающие повышенной ударной вязкостью (ударопрочные полистиролы) [15].

В зависимости от метода производства пенополистирол подразделяется на три основных типа:

- беспрессовый, изготавливается методом спекания гранул, характеризуется низкой плотностью (от 15 до 50 кг·м$^{-3}$), что обуславливает его легкость и невысокую стоимость. Пористая структура снижает устойчивость к влаге и механическим нагрузкам, однако обеспечивает высокие теплоизоляционные свойства и простоту обработки;

- экструдированный пенополистирол, производится методом экструзии, в результате чего формируется мелкоячеистая структура. Обладает повышенной прочностью, влагостойкостью и улучшенными теплоизоляционными характеристиками по сравнению с беспрессовым материалом. Такой материал имеет более высокую стоимость, но демонстрирует увеличенный срок службы;

- автоклавный пенополистирол, представляет собой разновидность экструдированного пенополистирола, изготавливаемую под воздействием давления и высоких температур в автоклавах. Обладает однородной структурой и повышенными эксплуатационными характеристиками, что делает его пригодным для специализированных задач, включая теплоизоляцию промышленных объектов. В строительстве используется реже из-за высокой стоимости.

Плиты из пенополистирола обладают высокой теплоизолирующей способностью. Плиты, имеющие толщину 50 мм, эквивалентны по теплоизолирующей способности железобетонным изделиям, имеющим толщину 500 мм. Это позволяет в современном строительстве снизить расходы бетона и максимально облегчить строительные конструкции, обеспечив необходимую теплопроводность использованием достаточно тонкого слоя пенополистирола, который, как правило, наносится на наружную поверхность строительных конструкций и закрывается, например, штукатуркой или декоративным покрытием.

Пенополистирол, как и все полимеры, подвержен естественной деструкции под воздействием внешних факторов (агрессивные среды, термические воздействия, повышенная влажность, ультрафиолетовое излучение, механические воздействия) [16]. Длительное воздействие таких факторов приводит к изменению структуры полимера и, как следствие, к модификации его физико-механических характеристик. Эти изменения могут оказывать влияние на свойства материала, определяющие показатели пожарной опасности. Еще одним недостатком пенополистирола как строительного материала является то, что он, в отличие от бетона, горюч, и это необходимо учитывать на протяжении всего срока эксплуатации.

Применение изделий из пенополистирола нормируется и имеет ряд ограничений с точки зрения пожарной безопасности. Согласно СП 2.13130.2012 «Системы противопожарной защиты. Обеспечение огнестойкости объектов защиты» системы фасадной теплоизоляционной композиции с наружными штукатурными слоями, в которых в качестве теплоизоляционного слоя используется пенополистирол, разрешено применять везде, кроме зданий классов функциональной пожарной опасности Ф 1.1 и Ф 4.1 (детские сады, больницы, дома престарелых). Наружные стены таких зданий могут быть облицованы только негорючими материалами.

Одной из особенностей вспененного полистирола является его низкая теплопроводность – 0,032-0,034 $Вт·(м·с)^{-1}$. Плиты пенополистирола паропроницаемы, но влагостойки, так как даже при полном погружении практически не впитывают воду [17], т. е. материал достаточно хорошо проводит пар, но не накапливает влагу в отличие от некоторых других теплоизоляторов. Пенополистирол биологически нейтрален, это значит, что плесень и грибок не размножаются на поверхности вспененного полистирола, что доказано многочисленными исследованиями. Не менее значим и большой срок службы с сохранением характеристик даже в суровых условиях эксплуатации [18].

Пенополистирол относится к классам горючести Г3 – Г4, то есть к наиболее пожароопасным. ППС имеет низкую теплостойкость и уже при температуре выше 80°С начинает необратимо терять форму [19]. Гетерофазная структура пенополистирольных материалов способна сохранять энергию от внешнего источника тепла в поверхностных слоях. В результате эти материалы быстро воспламеняются и распространяют огонь, увеличивая вероятность усиления пожара [20]. Ячеистая структура также влияет на тлеющее горение пенополистирола. Тление часто имеет большую продолжительность и скрытый характер. Открыто-пористая структура пенополистирола может ускорить прохождение горячих газов через открытые каналы полимерной матрицы [21].

Во время горения процесс окисления начинается, как только скорость выделения тепла превышает скорость отвода тепла в зоне реакции. Если теплопотери не превышают критического значения, условия будут благоприятны для окислительного про-

цесса. Горение пенополистирола в воздушной среде происходит за счет газовой фазы или гетерогенного механизма. Для прохождения твердофазных реакций при горении активные окислители должны быть частью структуры полимерной матрицы [22].

В пористой структуре пенополистирола содержится значительное количество воздуха. Объем этого окислителя недостаточен для полного сгорания полимера. Для полного сгорания 1 $м^3$ пенополистирола в воздухе материал должен иметь плотность, равную 100 $г \cdot м^{-3}$. При гетерогенном горении стабильный процесс возможен при соотношении воздух/топливо только в несколько процентов от стехиометрического.

Степень воспламеняемости и температуру горения можно снизить с помощью антипиренов, которые добавляют в полимерную массу при производстве. Такой пенополистирол называют самозатухающим. За счет введения антипирена горючесть полимера может быть снижена до класса Г2. Введение в пенополистирол антипиренов уменьшает вероятность случайного возгорания, но не повышает его термическую стойкость. Вместе с тем при горении такого материала происходит выделение токсичных продуктов [23].

Сгорание ППС происходит с выделением углекислого и угарного газа, как при сгорании любого органического материала, но скорость дымообразования выше, чем у того же дерева, поэтому его не применяют в открытых конструкциях, а закрывают штукатурным слоем. Например, фасадная система с пенополистиролом и фасадная система с минеральной ватой имеют один класс пожарной опасности – К0. Однако, даже находясь под штукатурным слоем, данный материал может разлагаться при воздействии высоких температур. При термолизе пенополистирола выделяется большое количество летучих органических соединений. Основная часть из них – это метан, ацетилен, этилен, пропилен, бензол, толуол, стирол. Многие из них обладают токсическим действием [24].

В полимерах используются разнообразные минеральные наполнители, пластификаторы, антипирирующие добавки на основе бора, фосфора, галогенов и азота [25], которые оказывают влияние на показатели пожарной опасности [26]. Так, повышение горючести за счет введения антипиренов на основе хлора и броморганических соединений приводит к повышению токсичности продуктов горения. При горении ППС на основе галогенорганических соединений образуются высокотоксичные вещества, например хлороводород, хлорметан, хлорэтан, фосген [27], при термическом разложении чистого пенополистирола высокотоксичные гетероорганические соединения не выделяются.

Под воздействием внешних эксплуатационных факторов (нагрев, УФ-излучение, радиация, механические воздействия) протекает химическая деструкция, которая приводит к разрушению макромолекул полимеров, в результате чего изменяются физико-химические и эксплуатационные свойства. При этом следует особо отметить тот факт, что деструкция пенополистирола, имеющего более развитую наружную поверхность, существенно отличается от деструкции полистирола. Данное явление характерно и для других вспененных материалов.

Фотостарение полимеров вызывает окислительные процессы, которые приводят к их деградации. Это проявляется в снижении механических характеристик, образовании трещин на поверхности и изменении цвета материала. УФ-излучение инициирует разрыв слабых химических связей в полимерных цепях, не влияя при этом на скорость межмолекулярных перегруппировок. В результате образуются активные свободные радикалы, способствующие дальнейшему разрушению полимера. В присутствии кислорода и воды этот процесс усиливается, а повышение температуры ускоряет окислительные реакции. При УФ-облучении пенополистирола происходят структурные изменения (рис. 2). Структура поверхности полимера меняется, пленки разрушаются, образуя сквозные поры, и нарушают целостность ячеек [28].

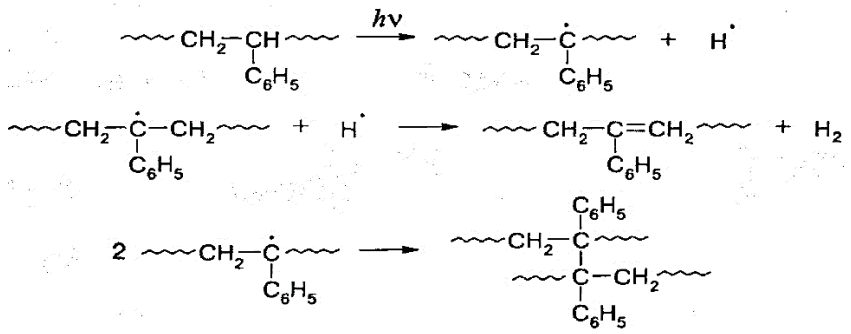

Рис. 2

Оштукатуривание или окрашивание пенополистирола при наружном утеплении объектов исключает негативное воздействие ультрафиолета на пенополистирол. В данном случае все деструктивные процессы связаны с естественными атмосферными явлениями, а также внешними локальными воздействиями негативных факторов (наличие наружных источников тепла – прохождение инженерных коммуникаций, по которым транспортируются теплоносители; наличие внешних источников зажигания – сварка, открытые источники огня, источники повышенного теплового излучения – софиты, осветительные приборы, размещенные на наружных поверхностях фасада объектов защиты, оборудование, работа которого сопряжена с выделением тепловой энергии, – кондиционеры, вентиляторы) [29].

Термическая деструкция пенополистирола в зависимости от степени нагрева протекает по разным механизмам. Высокотемпературная деструкция протекает в несколько фаз. При температуре от 160°С до 200°С протекает фаза термоокислительной деструкции, при нагреве материала свыше 260°С преобладают процессы термической деструкции и деполимеризации. Полистирол характеризуется среди всех полимеров одной из самых низких теплот полимеризации, что обуславливает доминирование деполимеризации до исходного мономера стирола в процессах его термической деструкции [30].

Низкотемпературная деструкция пенополистирола инициируется комплексным воздействием внешних и внутренних факторов. К внешним факторам относятся агрессивные жидкие среды, атмосферные колебания температуры и влажности, а также фото-, тепло- и механохимическое старение. Наиболее значимым из этих факторов является фото- и тепловое старение, вызванное ультрафиолетовым облучением, солнечной радиацией и тепловым излучением.

В результате теплового старения степень замкнутости ячеек и кажущаяся плотность материала уменьшаются. Разрушение стенок ячеек объясняется как механическим напряжением из-за перепада давления газа внутри и снаружи ячеек, так и деструкцией полимерных цепей. В стандартных условиях плотность пенополистирола изменяется незначительно и во многом зависит от влажности окружающей среды. При аномально высоких летних температурах, превышающих 60°С (например, на солнце), происходит существенное снижение упругих характеристик пенополистирола, рассчитанного на теплостойкость до 60°С. В условиях теплового старения величина водопоглощения пенополистирола увеличивается [31].

Разрушение стенок ячеек и проникновение влаги через образовавшиеся открытые поры приводят к снижению устойчивости экструдированного пенополистирола к высоким температурам. В условиях повышенных температур поверхностные слои пенополистирола, полученного методом беспрессового формования, подвергаются процессу деполимеризации стирола, что приводит к их спеканию. Это вызывает уменьшение паропроницаемости материала и, как следствие, увеличение влажности в конструкции, способствуя

образованию плесени. Кроме того, термодеструкция и фотодеструкция пенополистирола оказывают негативное влияние на его прочностные характеристики [32].

Таким образом, естественный процесс старения пенополистирола во времени происходит медленно, но может существенно ускоряться под воздействием технологических и эксплуатационных факторов. В результате происходит изменение структуры материала, что влияет и на показатели пожарной опасности. Деструкция пенополистирола, приводящая к открытой пористости, ускоряет прохождение горячих газов через открытые каналы полимерной матрицы. Это может привести к повышению показателей воспламеняемости, дымообразующей способности и распространения пламени по поверхности.

Термодеструкция пенополистиролов оказывает негативное влияние на целостность защитного покрытия, в результате чего интенсифицируется разрушение полимера под воздействием ультрафиолета. Собственно сами процессы деструкции полимера приводят не только к механическому нарушению структуры вспененного материала, но и к изменению его химического состава (разрыв химических связей, укорачивание полимерных цепочек, образование ненасыщенных соединений, окислительные процессы и т. д.), что существенно сказывается как на показателях пожарной опасности, так и на диэлектрических свойствах.

ВЫВОДЫ

Эксплуатационное старение приводит к изменению физико-механических свойств пенополистирола, в результате чего может происходить снижение всех показателей пожарной опасности и повышение способности к накоплению статических разрядов электричества. Данные изменения значительно увеличивают пожарную опасность текстильных предприятий, поскольку в атмосфере цехов существует вероятность создания взрывоопасных концентраций пыли и волокон.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Румянцева В.Е., Красильников И.В., Красильникова И.А.* и др. Изменение несущей способности строительных конструкций предприятий текстильной и легкой промышленности // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2023. № 2(404). С. 218…227.

2. *Кудрова Я.Р.* Сравнение различных вариантов технологий возведения стен промышленных зданий // Инновационное развитие строительства и архитектуры: взгляд в будущее. Симферополь, 2022. С. 201…206.

3. *Игохина Е.О.* Сравнительный анализ самых популярных утеплителей в строительстве // Экология и строительство. 2016. №. 1. С. 7…11.

4. *Ярцев В.П., Мамонтов А.А., Мамонтов С.А.* Эксплуатационные свойства и долговечность теплоизоляционных материалов (минеральной ваты и пенополистирола) // Кровельные и изоляционные материалы. 2013. №. 1. С. 8…11.

5. *Алексеев П.С., Солонов Г.Г., Деревков В.Ю.* Устройство теплоизоляции из пенополиуретана // Традиционная и инновационная наука: история, современное состояние, перспективы. Уфа, 2019. С. 5…7.

6. *Джумадурдыев Т., Шукуров А., Евыева О.* Экологически чистые материалы для утепления в строительстве // Вестник науки. 2024, Т. 1. №. 12 (81). С. 1379…1383.

7. *Гуюмджян П.П., Коканин С.В., Цыбакин С.В.* Исследование долговечности пенополистирола строительного назначения // Вестник МГСУ. 2012. №. 1. С. 88…93.

8. *Мочалов А.М., Акулова М.В., Ульев Д.А., Шарабанова И.Ю.* Оценка влияния компонентов покрытия пенополистирола на его воспламеняемость с помощью регрессионного анализа // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2021. № 6(396). С. 333…337.

9. *Сусоева И.В., Букалов Г.К.* Оценка пожарной опасности технологического процесса получения хлопчатобумажной пряжи путем анализа дисперсности пыли // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2015. № 5 (359). С. 206...211.

10. *Махов Н.М., Торопова М.В., Махов О.Н.* О причинах пожаров в текстильной отрасли // Пожарная и аварийная безопасность: сб-к матер. XI Междунар. науч.-практ. конф. Иваново: ИПСА, 2016. С. 277…278.

11. *Федосов С.В., Торопова М.В., Махов Н.М. и др.* Разработка рекомендаций по выбору средств и методов для обеспечения пожарной безопасности текстильных производств // Современные проблемы гражданской защиты. 2019. №2(31). С. 97…105.

12. *Король Е.А., Кустикова Ю.О., Шенберева А.В.* Эксплуатационная безопасность кирпичных наружных стен предприятий текстильной промышленности // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2023. № 3(405). С. 201…208.

13. *Циркина О.Г., Спиридонова В.Г., Салихова А.Х., Сырбу С.А.* К вопросу обеспечения пожарной безопасности предприятий текстильной промышленности // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2022. № 6 (402). С. 177...182.

14. *Богданов И.А., Ульева С.Н., Никифоров А.Л, Краснов А.А.* Оценка влияния старения полимеров на изменение их пожароопасных свойств // Современные проблемы гражданской защиты. 2025. №1(54). С. 5…11.

15. *Никольский Б.П.* Справочник химика. Сырье и продукты промышленности органических веществ. М.: Рипол Классик, 2014.

16. *Kannan P., Biernacki J.J., Visco D.P.* A review of physical and kinetic models of thermal degradation of expanded polystyrene foam and their application to the lost foamcasting process // Journal of Analytical and Applied Pyrolysis. 2007. Vol. 78. Issue 1. pp. 162…171.

17. *Гуюмджян П.П., Коканин С.В., Цыбакин С.В.* Исследование физико-механических свойств пенополистирола при водопоглощении // Вестник МГСУ. 2011. №1. Т. 1. С. 79…85.

18. *Баталин Б.С., Евсеев Л.Д.* Эксплуатационные свойства пенополистирола вызывают опасения // Строительные материалы. 2009. №10. С. 55…58.

19. *Кобелев А.А.* и др. Термическое поведение полимерной теплоизоляции пониженной горючести // Пожаровзрывобезопасность. 2018. Т. 27. №. 4. С. 13…23.

20. *Сенченко Т.В., Власова О.С., Батманов В.П.* Анализ экспериментальных исследований пожароопасности пенополистирола и токсичности продуктов его горения // Инженерный вестник Дона. 2019. №. 1 (52). С. 121...125.

21. *Гуюмджян П.П., Коканин С.В., Пискунов А.А.* О пожароопасности полистирольных пенопластов строительного назначения // Пожаровзрывобезопасность. 2011. Т. 20. №. 8. С. 4…8.

22. *Жуков Д.Д., Красновских М.П.* Термическое разложение пенополистирола самозатухающего // Современные наукоемкие технологии. 2014. № 4. С. 101…107.

23. *Кетов А.А., Красновских М.П.* Исследование продуктов термической деструкции пенополистирола самозатухающего и полистирола, полученного полимеризацией в массе с полихлорированными углеводородами // Вестник Пермского университета. Серия: Химия. 2013. № 2 (10). С. 67…73.

24. *Huang D. et al.* Microplastics and nanoplastics in the environment: Macroscopic transport and effects on creatures // Journal of hazardous materials. 2021, Т. 407. С. 124399.

25. *Laoutid F. et al.* New prospects in flame retardant polymer materials: From fundamentals to nanocomposites // Materials science and engineering: R: Reports. 2009. Т. 63. №. 3. pp. 100…125.

26. *Tüzüm Demir A.P., Ulutan S.* Migration of phthalate and non-phthalate plasticizers out of plasticized PVC films into air // Journal of applied polymer science. 2013, Т. 128. №. 3. pp. 1948…1961.

27. *Vahabi H., Sonnier R., Ferry L.* Effects of ageing on the fire behaviour of flame retarded polymers: A review // Polymer international. 2015, Т. 64. №. 3. pp. 313…328.

28. *Гуюмджян П.П., Коканин С.В., Цыбакин С.В.* Исследование процесса старения пенополистирола в условиях ультрафиолетового и инфракрасного облучений // Вестник МГСУ. 2010. №4. Т.1. С. 92…96.

29. *Хасанов И.Р.* Тепловые воздействия на наружные конструкции при пожаре // Пожарная безопасность. 2013. № 4. С. 16 …26.

30. *Баталин Б.С., Красновских М.П.* Долговечность и термическая устойчивость пенополистирола // Строительные материалы. 2014. №. 8. С. 64…67.

31. *Федотов А.В., Красновских М.П., Мокрушин И.Г.* Термическая деструкция изделий из пенополистирола // Вестник Пермского университета. Серия: Химия. 2015. №. 2. С. 102…109.

32. *Федюк Р.С., Абрамов О.С., Баранов А.В.* Совместная работа бетона и пенополистирола в ограждающих конструкциях // Интеллектуальные строительные композиты для зеленого строительства. Белгород, 2016. С. 213…217.

REFERENCES

1. *Rumyantseva V.E., Krasilnikov I.V., Krasilnikova I.A. and others.* Changing the bearing capacity of building structures of textile and light industry enterprises // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2023. No. 2(404). pp. 218...227.

2. *Kudrova Ya.R.* Comparison of various wall construction technologies for industrial buildings // Innovative development of construction and architecture: a look into the future. Simferopol, 2022, pp. 201...206.

3. *Igokhina E.O.* Comparative analysis of the most popular insulation materials in construction // Ecology and Construction. 2016, No. 1. pp. 7...11.

4. *Yartsev V.P., Mamontov A.A., Mamontov S.A.* Operational properties and durability of thermal insulation materials (mineral wool and expanded polystyrene) // Roofing and insulating materials. 2013. No. 1. pp. 8...11.

5. *Alekseev P. S., Solonov G. G., Derevkov V.Yu.* The device of thermal insulation from polyurethane foam // Traditional and innovative science: history, modern state, prospects. Ufa, 2019. p. 5...7.

6. *Dzhumadurdyev T., Shukurov A., Evaeva O.* Environmentally friendly materials for insulation in construction // Bulletin of Science. 2024, Vol. 1. №. 12 (81). Pp. 1379...1383.

7. *Guyumjian P.P., Kokanin S.V., Tsybakin S.V.* Durability study of expanded polystyrene for construction purposes // Bulletin of MGSU. 2012, No. 1. pp. 88...93.

8. *Mochalov A.M., Akulova M.V., Ulev D.A., Sharabanova I.Yu.* Evaluation of the effect of the components of the polystyrene foam coating on its flammability using regression analysis // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2021. No. 6(396). pp. 333...337.

9. *Susoeva I.V., Bukalov G.K.* Assess the fire risk of technological process of production of cotton yam by analyzing the dispersion of dust // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2015. No. 5 (359). p. 206...211.

10. *Makhov N.M., Toropova M.V., Makhov O.N.* On the causes of fires in the textile industry // Fire and Emergency Safety: Collection of materials of the XI International Scientific and Practical Conference. Ivanovo: IPSA, 2016. pp. 277...278.

11. *Fedosov S.V., Toropova M.V., Makhov N.M. etc.* Development of recommendations on the choice of means and methods for ensuring fire safety of textile industries // Modern problems of civil protection. 2019. No. 2(31). pp. 97...105.

12. *Korol E.A., Kustikova Yu.O., Shenbereva A.V.* Operational safety of brick exterior walls of textile industry enterprises // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2023. No. 3(405). pp. 201...208.

13. *Zirkina O.G., Spiridonova V.G., Salikhova A.Kh., Syrbu S.A.* On the issue of ensuring fire safety of enterprises textile industry // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2022. No. 6 (402). pp. 177...182.

14. *Bogdanov I.A., Uleva S.N., Nikiforov A.L., Krasnov A.A.* Assessment of the effect of polymer aging on changes in their fire-hazardous properties // Modern problems of civil protection. 2025. No. 1(54). p. 5...11.

15. *Nikolsky B.P.* Handbook of a chemist. Raw materials and products of the organic substances industry. Moscow: Ripoll Classic, 2014.

16. *Kannan P., Biernacki J. J., Visco D. P.* A review of physical and kinetic models of thermal degradation of expanded polystyrene foam and their application to the lost foam casting process // Journal of Analytical and Applied Pyrolysis. 2007. Vol. 78. Issue 1. pp. 162...171.

17. *Guyumjyan P.P., Kokanin S.V., Tsybakin S.V.* Investigation of the physical and mechanical properties of expanded polystyrene during water absorption // Bulletin of MGSU. 2011. No. 1. Vol. 1. pp. 79...85.

18. *Batalin B.S., Evseev L.D.* The operational properties of expanded polystyrene raise concerns // Building materials. 2009. No. 10. P. 55...58.

19. *Kobelev A.A. et al.* Thermal management of polymer thermal insulation of reduced flammability // Fire and explosion safety. 2018, Vol. 27. No. 4. pp. 13...23.

20. *Senchenko T.V., Vlasova O.S., Batmanov V.P.* Analysis of experimental studies of fire hazard of styrene foam and toxicity of its combustion products // Engineering Bulletin of the Don. 2019. №. 1 (52). pp. 121…125.

21. *Guyumjian P.P., Kokanin S.V., Piskunov A.A.* On the fire hazard of polystyrene foams for construction purposes // Fire and explosion safety. 2011, vol. 20. No. 8, pp. 4...8.

22. *Zhukov D.D., Krasnovskikh M.P.* Thermal decomposition of self-extinguishing expanded polystyrene // Modern science-intensive technologies. 2014, No. 4. pp. 101...107.

23. *Ketov A.A., Krasnovskikh M.P.* Investigation of products of thermal decomposition of self-extinguishing polystyrene foam and polystyrene obtained by polymerization in bulk with polychlorinated hydrocarbons // Bulletin of Perm University. Chemistry. 2013, № 2 (10). pp. 67…73.

24. *Huang D. et al.* Microplastics and nanoplastics in the environment: Macroscopic transport and effects on creatures // Journal of hazardous materials. 2021, vol. 407. pp. 124399.

25. *Laoutid F. et al.* New prospects in flame retardant polymer materials: From fun-damentals to nanocomposites // Materials science and engineering: R: Reports. 2009, vol. 63. no. 3. pp. 100...125.

26. *Tüzüm Demir A. P., Ulutan S.* Migration of phthalate and non-phthalate plasticizers out of plasticized PVC films into air // Journal of applied polymer science. 2013. T. 128. №. 3. pp. 1948…1961.

27. *Vahabi H., Sonnier R., Ferry L.* Effects of ageing on the fire behaviour of flame retarded polymers: A review // Polymer international. 2015, T. 64. №. 3. pp. 313…328.

28. *Guyumjyan P.P., Kokanin C.B., Tsybakin C.B.* Investigation of the aging process of expanded polystyrene under ultraviolet and infrared irradiation // Bulletin of MGSU. 2010. No. 4. Vol. 1. pp. 92...96.

29. *Khasanov I.R.* Thermal effects on external structures in case of fire // Fire protection security. 2013. No. 4. pp. 16...26.

30. *Batalin B.S., Krasnovskikh M.P.* Durability and thermal stability of expanded polystyrene // Construction materials. 2014. No. 8. pp. 64...67.

31. *Fedotov A.V., Krasnovskikh M.P., Mokrushin I.G.* Thermal degradation of expanded polystyrene products // Bulletin of Perm University. Series: Chemistry. 2015, No. 2. pp. 102...109.

32. *Fedyuk R.S., Abramov O.S., Baranov A.V.* Joint work of concrete and styrene foam in enclosing structures // Intelligent building composites for green construction. Belgorod, 2016, pp. 213...217.

Рекомендована кафедрой пожарной безопасности объектов защиты (в составе УНК «Государственный надзор») Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России. Поступила 01.04.25.