

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ И КОНСТРУКЦИЙ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Кудряшов В.А., Дробыш А.С.

Цель. Провести анализ имеющихся экспериментальных и теоретических исследований по определению пожароопасных свойств полимерных композитных материалов и конструкций, а также возможности их применения в строительстве.

Методы. Обзор, анализ и сравнение существующих результатов экспериментальных и теоретических исследований по исследуемой тематике.

Результаты. Проведен обзор и выявлены основные проблемы применения полимерных композитных (стеклопластиковых) материалов и конструкций при проектировании и строительстве зданий и сооружений. Рассмотрены результаты отечественных и зарубежных экспериментальных и теоретических исследований. Определена область применения полимерных композитных (стеклопластиковых) материалов и конструкций с учетом требований пожарной безопасности нормативных документов в области строительства.

Область применения исследований. Проектирование и строительство зданий и сооружений с использованием полимерных композитных (стеклопластиковых) материалов и конструкций.

Ключевые слова: композитные материалы, стеклопластик, горючесть, огнестойкость, огнезащита, экспериментальные исследования, пожарная опасность, критическая температура.

(Поступила в редакцию 14 октября 2024 г.)

Введение

Полимерные композитные материалы получили широкое применение в различных отраслях и направлениях, таких как автомобиле-, ракетно-, авиациостроение, морская техника [1–5]. Не составляет исключения строительная отрасль¹ [6; 7]. Независимо от области применения материалы и конструкции должны соответствовать установленным требованиям нормативных документов в области пожарной безопасности. Требования пожарной безопасности во всем мире базируются на классификации материалов и конструкций в области пожарной опасности/безопасности и проведения соответствующих испытаний [8, с. 233–486]. При этом именно в строительной области такие требования оказались наиболее серьезными.

Требования нормативных документов Республики Беларусь в области пожарной безопасности строительства также имеют строгую классификацию, определяющую область их применения.

Согласно разделу 5 «Пожарно-техническая классификация» СН 2.02.05-2020² «Пожарная безопасность зданий и сооружений» для строительных материалов определены следующие показатели пожарной опасности: Г – горючесть, В – воспламеняемость, РП – распространение пламени по поверхности, Д – дымообразующая способность и Т – токсичность продуктов горения. Однако в большинстве случаев эти показатели используют для отделочных материалов. Применение полимерных композитных (стеклопластиковых) материалов в качестве отделочных не исключено, однако в настоящей статье они рассмотрены исключительно в качестве самостоятельных строительных конструкций.

¹ Design of fibre-polymer composite structures: PD CEN/TS 19101:2022; effect. 28.04.2023. – 242 p. – ISBN: 978-0-539-13572-5.

² Пожарная безопасность зданий и сооружений. Строительные нормы Республики Беларусь: СН 2.02.05-2020. – Взамен СН 2.02.01-2019, ТКП 45-2.02-315-2018 (33020). – Введ. 04.04.2021. – Минск: Минстройархитектуры, 2021. – 70 с.

Строительные конструкции, согласно³ классифицируют по пределу огнестойкости и классу пожарной опасности.

Предел огнестойкости конструкции⁴ – промежуток времени от начала огневого воздействия в условиях стандартных испытаний до наступления одного из нормируемых для данной конструкции предельных состояний: потеря несущей способности R , потеря целостности E , потеря теплоизолирующей способности I , предельная величина плотности теплового потока W . В целом предельные состояния по огнестойкости можно разделить на два основных направления: обеспечение несущей способности конструкции при пожаре и обеспечение огнепреграждающей способности⁵. Эффективные композитные стеклопластиковые конструкции применяют преимущественно в качестве стержневых элементов, соответственно, для них огнепреграждающая способность мало применима, в то время как предельное состояние по несущей способности R является основным показателем несущей способности таких конструкций при пожаре.

И если несущая способность при пожаре обеспечивает конструктивную безопасность зданий и сооружений, в том числе защиту от прогрессирующего обрушения, «класс пожарной опасности» – это характеристика, отвечающая за способность (неспособность) конструктивных элементов распространять пламя по своей поверхности за пределами локальной зоны горения. Для этого в классификации используют целночисленные индексы $K0...K3$, которые говорят о том, что конструкция в условиях специальных испытаний либо не способна к распространению пламени ($K0$), либо способна в крайней степени ($K3$), либо ограниченно способна ($K1, K2$)⁶.

При установлении класса пожарной опасности дополнительно учитываются характеристики пожарной опасности поврежденных в ходе испытаний материалов: горючесть, воспламеняемость и дымообразующая способность. Использование такого подхода, очевидно, позволяет более строго ограничивать вероятное распространение пламени по поверхности, понимая, что в реальных условиях мощность/площадь локальной зоны горения может быть масштабно более высокой; в том числе более широко задействовать систему мелкомасштабных испытаний. Поэтому для конструкций, способных повреждаться в условиях огневого воздействия [9, с. 90–106] мелкомасштабные испытания пожарной опасности также становятся обязательными.

Отметим, что оценка предела огнестойкости⁷ и класса пожарной опасности⁸ строительных конструкций осуществляется согласно ГОСТ 30247.0-94⁹. По результатам испытаний материала, проведенным по методикам ГОСТ 30247.0-94, определяется его способность сопротивляться повреждению в диапазоне температур стандартного пожара (в пределах времени до 120 мин, реже – выше) и в конечном счете область применения в строительстве.

³ См. сноску 2.

⁴ Система стандартов пожарной безопасности. Пассивная противопожарная защита. Термины и определения: СТБ 11.0.03-95. – Введ. 16.10.1995 // Официальная информационно-поисковая система «Стандарт». – URL: <https://ips3.belgiss.by/TnpaDetail.php?UrlId=19386> (дата обращения: 02.10.2024).

⁵ См. сноску 4.

⁶ Конструкции строительные. Методы определения пожарной опасности: СТБ 1961-2009. – Введ. 20.05.2009 // Официальная информационно-поисковая система «Стандарт». – URL: <https://ips3.belgiss.by/TnpaDetail.php?UrlId=326630> (дата обращения: 02.10.2024).

⁷ Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Несущие и ограждающие конструкции: ГОСТ 30247.1-94. – Введ. 01.01.1996 // Официальная информационно-поисковая система «Стандарт». – URL: <https://ips3.belgiss.by/TnpaDetail.php?UrlId=18320> (дата обращения: 15.02.2024).

⁸ См. сноску 4.

⁹ Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Общие требования: ГОСТ 30247.0-94. – Введ. 01.01.1996 // Официальная информационно-поисковая система «Стандарт». – URL: <https://ips3.belgiss.by/TnpaDetail.php?UrlId=18319> (дата обращения: 15.02.2024).

Поэтому исследование механических и теплофизических свойств материала при высокотемпературном тепловом воздействии является важной научной задачей, что в сочетании с характеристиками пожарной опасности/безопасности позволит четко определять область применения материалов в строительстве.

Стоит отметить, что в некоторых работах [10; 11] была установлена искомая взаимосвязь между теорией горения, механикой полимеров и их огнестойкостью. В работе [12] отмечено, что лабораторные исследования горючести полимерных композитных материалов могут стать важным аспектом в части прогнозирования предела огнестойкости конструкций, в том числе в условиях реального пожара.

Настоящая статья посвящена анализу взаимосвязи механических, теплофизических свойств полимерных композитных стеклопластиковых конструкций в сочетании с характеристиками их горючести и показателями огнестойкости.

Обзор существующих исследований и полученных результатов

Существует различное множество рецептов и способов изготовления полимерных композитных материалов, исходя из предъявляемых требований к готовому изделию или материалу [13, с. 297–343; 14]. В зависимости от показателей пожарной опасности/безопасности рецептуры могут значительно отличаться, что зачастую требует большого спектра испытаний даже для отдельно взятой рецептуры. Однако понимание общих закономерностей горения полимеров позволяет упростить эту задачу.

Впервые проблема горения полимеров привлекла внимание ученых еще в XIX в., в связи с открытием огнеопасной целлюлозы и целлулоида [15]. И в настоящее время проблеме горения полимерных материалов и реализации комплексного подхода к ее изучению посвящено множество научных исследований в данной области. Ее решение связано не только с вопросами химии полимеров, химической кинетики (цепные реакции, термическая и термоокислительная деструкция, горение, взрыв), органической химии (синтез и свойства добавок, снижающих горючесть), но и с проблемами математической физики (пограничный слой с химическими реакциями) и в некоторых случаях со сложной техникой эксперимента [6; 16–19; 20, с. 47–74].

Особое внимание стоит уделить и вопросу механизма разрушения композитного полимерного материала в условиях повышенных температур. При нормальных условиях механизм разрушения материала зависит от множества параметров: свойств волокон и матрицы, схемы укладки слоев, особенностей отверждения, температуры и т.д. [8, с. 83–86; 21]. Многочисленные исследования в области изучения свойств полимерных материалов и композитов, а также характер их изменения при воздействии температур свидетельствуют о том, что поведение полимерных композитных материалов может быть либо термопластичным, либо терморезистивным [22, с. 25].

Термопластичные полимеры (термопласты) обладают свойством многократно переходить при нагревании в состояние расплава – при повышенных температурах они находятся в пластическом, вязкотекучем состоянии. Схожее поведение характерно и для металлов, у которых в качестве критерия огнестойкости часто используют понятие «критическая температура», соответствующая потере прочности или несущей способности в условиях максимально возможных напряжений [23, с. 91–92].

Терморезистивные полимеры (реактопласты) при нагревании выше определенных температур становятся неплавкими – обугливаются. Как известно, обугливание при воздействии высоких температур наиболее характерно для древесины, где предел огнестойкости наступает вследствие уменьшения размеров сечения [23, с. 94–95; 24].

Обзор литературных источников показал, что полномасштабные экспериментальные исследования по определению предела огнестойкости композитных стеклопластиковых строительных конструкций ранее не проводились. Однако имеются результаты отдельных экспериментальных и аналитических исследований огнестойкости.

Например, интерес вызывают сопоставительные результаты испытаний сплошной бетонной плиты со стальной либо композитной арматурой, защитный слой которой составлял 25 мм [25]. В результате испытаний установлено, что предел огнестойкости по несущей способности (R) исследуемой бетонной плиты со стальной арматурой наступил на 88-й минуте после начала стандартного огневого воздействия, в то время как предел огнестойкости аналогичной плиты с композитной арматурой оказался не более 5 мин, сопровождался быстрым нарастанием скорости прогиба и последующим обрушением конструкции. На 3–4-й минуте испытания в плите образовались широкие поперечные трещины, по сути, свидетельствующие об образовании линейного пластического шарнира, способствующие переносу теплоты непосредственно на растянутые композитные стержни и скорейшему разрушению. Указанные результаты свидетельствуют, что температура размягчения стеклопластиковой арматуры значительно ниже стальной, и стандартные защитные слои не могут обеспечить огнестойкость указанной конструкции до стандартных значений. Подобные результаты опубликованы и в работах [26–28]. В работе [28] было предложено ограничивать нагрев стеклопластиковой арматуры в бетонных сечениях до 150 °С. В частности, увеличение защитного слоя бетона до 60 мм и использование огнезащитных красок и составов при средней толщине огнезащитного покрытия 5 мм позволяют достичь указанного ограничения нагрева в течение 90 мин стандартного огневого воздействия.

Таким образом, для повышения огнестойкости полимерных материалов могут использоваться химическую/технологическую модификацию полимеров: применение антипиренов и (или) негорючих наполнителей, нанесение огнезащитных покрытий, использование огнезащитных плит [17; 23, с. 74–76, 81; 29, с. 34–50; 30].

Результаты экспериментальных исследований эффективности огнезащитного вспучивающегося покрытия на основе перхлорвинилового смолы для композитного полимерного материала на примере стеклопластика методом воздействия открытого огня на обработанный образец опубликованы в работе [31]. Авторы провели экспериментальные исследования эффективности вспучивающегося покрытия с целью установления времени достижения предельного состояния стеклопластика (в данном случае было принято достижение значения температуры начала деструкции 280...300 °С) под действием пламени горелки на образец (максимальное значение температуры пламени достигало 840 °С). Значения температур на необогреваемой поверхности опытного образца стеклопластика с течением времени до момента достижения образцом предельного состояния регистрировались с помощью пирометра. Стоит отметить, что достижение значения температуры на необогреваемой поверхности образца в диапазоне 100–150 °С от времени начала огневого воздействия были получены за относительно короткий интервал времени, не превышающий 60 с, что свидетельствует о низкой эффективности огнезащитного покрытия и неприменимости его в качестве огнезащиты для стеклопластика.

В работе [32] авторы изначально акцентируют внимание на низкой теплостойкости композиционных полимерных материалов и, соответственно, делают вывод о низком пределе огнестойкости конструкций, выполненных из этих материалов, исходя из ранее проведенных ими исследований. Авторами отмечено, что при достижении значений температуры в диапазоне 80–150 °С происходит существенное снижение прочности полимерного композитного материала. Это свидетельствует о том, что самостоятельно без дополнительной огнезащиты материал не сможет выдержать теплового воздействия при пожаре. В результате проведенных расчетов температурных полей в полимерной конструкции авторами было установлено, что использование огнезащиты в виде плит, матов и штукатурок замедляет скорость прогрева конструкции, не достигая критических значений температуры, что, в свою очередь, позволяет обеспечить огнестойкость конструкции и достижение требуемого предела ее огнестойкости. Как свидетельствуют авторы, огнезащита в виде вспучивающегося покрытия также применима для повышения огнестойкости композиционных полимерных материалов и конструкций из них, но необходимо обратить особое внимание на значение

температуры начала вспучивания и его адгезию к применяемому материалу¹⁰. Используя зависимости значений температур от толщины огнезащитного слоя и вида огнезащиты, полученные с помощью математического моделирования, авторы спрогнозировали предел огнестойкости конструкции, однако экспериментальных исследований огнестойкости авторы не проводили.

Информация о проведении экспериментальных исследований класса пожарной опасности композитных полимерных строительных конструкций отсутствует¹¹. Имеются результаты огневых испытаний по определению класса пожарной опасности для клеенодеревянных панелей с огнезащитой, которые приведены в работе [33]. Автором были проведены экспериментальные исследования по определению показателей пожарной опасности для клеенодеревянной панели (Г, В, Д, Т), а также по определению класса пожарной опасности для конструкции из клеенодеревянных панелей. Получены результаты, которые свидетельствуют о том, что применение огнезащиты позволяет достичь показателей пожарной опасности Г 1, В 1, Д 2 (без огнезащиты Г 4, В 2, Д 3) для клеенодеревянной панели, а также получить класс пожарной опасности К0 для конструкции из клеенодеревянных панелей в течение 30 мин огневого воздействия по стандартному температурному режиму.

Анализ литературных источников свидетельствует, что применение в строительстве материалов, а также конструкций, выполненных из них, является весьма актуальной задачей и перспективным научным направлением. Однако требования действующего законодательства в области строительства и пожарной безопасности значительно сужают их сферу возможного применения в качестве конструкций в зданиях и сооружениях с нормируемой степенью огнестойкости, т.к. требуемый минимальный предел огнестойкости не был достигнут для композитной полимерной конструкции ни в одних проводимых исследованиях. Необходима разработка алгоритма исследований, а также комплексной оценки показателей пожарной опасности для материалов и конструкций, включая моделирование теплового воздействия, которое позволит более детально спрогнозировать поведение конструкции и получить необходимые показатели пожарной опасности в соответствии с требованиями действующего законодательства.

Собственные исследования

Ранее авторами была разработана оригинальная методика проведения испытаний (рис. 1) для оценки горючести, теплостойкости, прочности как при нормальных условиях, так и в условиях повышенных температур, огнезащитной эффективности и предела огнестойкости композиционного полимерного материала, выполненного из стеклопластика на основе изофталевой смолы [34].



Рисунок 1. – Этапы экспериментальных исследований

¹⁰ Согласно опубликованным источникам информация о таких покрытиях отсутствует.

¹¹ Изначально проводятся испытания на определение предела огнестойкости конструкции, в случае подтверждения заявленных требований проводятся испытания на определение класса пожарной опасности.

На первом этапе экспериментальных исследований материала на горючесть и теплоустойчивость было установлено, что исследуемый материал при тепловом воздействии подвергается пиролизу и он не плавится, а обугливается. Поэтому поведение материала при пожаре будет приближенным к поведению древесины, однако стоит учитывать тот факт, что ввиду высокой прочности его сечения при достаточно тонкой толщине (10 мм) поведение материала при пожаре может быть схожим с поведением металла (как правило, достижением критической температуры). Минимальный критический тепловой поток, при котором происходило воспламенение образца составил 20 кВт/м^2 , также было установлено, что при достижении значения температур на поверхности образца в $300 \text{ }^\circ\text{C}$ происходило воспламенение. Было отмечено, что при достижении значений температуры порядка $150 \text{ }^\circ\text{C}$ было зафиксировано расслаивание материала, которое сопровождалось растрескиванием с характерным звуком. Причиной растрескивания служила разность деформаций расширения нагретых слоев материала в середине образца и не нагретых по его периметру. Ввиду того что при реальных пожарах равномерный нагрев конструкций маловероятен, указанная температура была принята в качестве критерия огнестойкости, т.к. расслоение материала ведет к быстрой потере его прочностных характеристик. При этом было установлено, что температура, при которой начинаются самоускоряющиеся процессы пиролиза полимера, составляет не менее $200 \text{ }^\circ\text{C}$. Таким образом, значение температуры $150 \text{ }^\circ\text{C}$ было принято в качестве критического, при котором обеспечивается необходимый запас до начала термического разложения материала. Значение критической температуры и обоснование его выбора во многом совпадает с ранее опубликованными по схожей тематике результатами исследований [8, с. 99–111; 30–32; 35].

Второй этап экспериментальных исследований был направлен на определение прочностных и деформативных свойств материала как при нормальных условиях, так и при условиях теплового воздействия. Было установлено, что при растяжении и сжатии происходит хрупкое разрушение материала. Во время теплового воздействия характер разрушения был таким же, как и при нормальных условиях, и разрушение оставалось хрупким, но напряжения практически в 2 раза уменьшились при температуре $150 \text{ }^\circ\text{C}$. Это можно объяснить тем, что уже при температуре $150 \text{ }^\circ\text{C}$ нарушается сцепление матрицы со стекловолокном, и проскальзывание происходит при меньших напряжениях, соответственно, уменьшается прочность материала. Результаты второго этапа экспериментальных исследований схожи и хорошо коррелируют с результатами, которые были получены в работах [13, с. 71–72; 28; 30; 35; 36].

Третий этап экспериментальных исследований был посвящен оценке огнезащитной эффективности. Были проведены экспериментальные исследования вспучивающихся огнезащитных покрытий на установке по определению огнезащитной эффективности для металла и древесины [34]. В результате было установлено, что покрытия эффективны только для материалов и конструкций, которые подвергаются непосредственно огневому воздействию (происходит резкий тепловой удар). В случае менее интенсивного нагрева они оказываются неработоспособными, т.к. значение температуры начала работы огнезащитного состава равно значению критической температуры исследуемого материала, а то и превышает его, что в очередной раз подтверждает выводы и результаты работ [19; 30; 37].

Четвертым этапом экспериментальных исследований было применение конструктивной огнезащиты на основе гипсовых вяжущих для полимерного композиционного материала согласно СТБ 11.03.02¹². По результатам экспериментальных исследований было установлено, что применение в качестве конструктивной огнезащиты гипсокартонного листа толщиной 12,5 мм позволяет в течение 17 мин стандартного огневого воздействия пожара достичь значения температуры на поверхности образца не более $100 \text{ }^\circ\text{C}$, а при использовании огнестойкой армированной плиты толщиной 25 мм не более $110 \text{ }^\circ\text{C}$, полученные значения

¹² Система стандартов пожарной безопасности. Средства огнезащитные. Общие технические требования и методы испытаний: СТБ 11.03.02-2010. – Введ. 20.10.2010. – Минск: Госстандарт Респ. Беларусь, 2010. – 40 с.

схожи с результатами, которые были получены в работе [38]. Результаты экспериментальных исследований каждого этапа позволили впервые провести полномасштабные исследования по определению предела огнестойкости полимерной композиционной конструкции [39]. В качестве объекта полномасштабных испытаний на определение предела огнестойкости по несущей способности был принят профиль двутавровый 200×100×10 мм, балочный, полимерный композитный, изготовленный методом пултрузии с использованием изофталевой смолы, непрерывно армированной стекловолокном, соответствующий EN13706-2:2002E¹³. Профиль был шарнирно закреплен в замкнутой прямоугольной металлической раме, выполненной из швеллера. Конструктивная огнезащита крепилась к профилю методом навески с использованием прямых подвесов. Нагрузка на образец представляла собой две плиты железобетонные многопустотные массой по 1560 кг. Собственная масса балки составляла 22 кг, а масса конструктивной огнезащиты – 25 кг [39]. В результате натурных экспериментальных исследований на огнестойкость по ГОСТ 30247.1¹⁴ образец композитной конструкции на основе двутаврового профиля с использованием конструктивной огнезащиты соответствует показателю по несущей способности R30 и классу пожарной опасности K0. Исходя из полученных результатов впервые появилась возможность применения в качестве несущего элемента в зданиях и сооружениях с нормируемой степенью огнестойкости полимерного композитного двутаврового балочного профиля.

Заключение

1. Применение в строительстве полимерных композиционных конструкций возможно, однако оно ограничено требованиями по пределу огнестойкости, классу пожарной опасности с допускаемыми характеристиками пожарной опасности поврежденного материала по горючести, воспламенению и дымообразующей способности. Появление и внедрение таких конструкций при проектировании и строительстве ведет к необходимости более детально изучать свойства и поведение полимерных композиционных конструкций при тепловом воздействии с использованием как стандартных методик проведения испытаний, так и методик с изменениями и дополнениями исходя из специфики и свойств исследуемого материала.

2. Проведенный обзор литературных источников по тематике исследования свидетельствует о том, что полномасштабные экспериментальные исследования полимерных композиционных конструкций проводятся крайне редко и в значительной степени не получают желаемого результата.

3. Разработанная оригинальная методика [34] позволила спрогнозировать и более детально оценить исследуемые показатели горючести, воспламеняемости, теплостойкости, а также установить температурные и прочностные зависимости для испытуемого материала, определить предел огнестойкости по несущей способности и класс пожарной опасности конструкции. Полученные результаты исследований по несущей способности R30 [36; 39] позволили впервые использовать полимерный композитный двутавровый балочный профиль в качестве несущего элемента в зданиях и сооружениях с нормируемой степенью огнестойкости и значительно расширили его область применения при проектировании и строительстве.

ЛИТЕРАТУРА

1. Khan, F. Advances of composite materials in automobile applications – A review / F. Khan, N. Hossain, J.J. Mim [et al.] // Journal of Engineering Research. – 2024. – DOI: 10.1016/j.jer.2024.02.017.
2. Зеленский, Э.С. Армированные пластики – современные конструкционные материалы / Э.С. Зеленский А.М. Куперман, Ю.А. Горбаткина [и др.] // Российский химический журнал. – 2001. –

¹³ Reinforced plastics composites – Specifications for pultruded profiles – Part 2: Methods of test and general requirements: EN 13706-2:2002. – Effect. 01.05.2003. – 40 p.

¹⁴ См. сноску 7.

- Т. 45, № 2. – С. 56–74. – URL: <https://www.chem.msu.su/rus/jvho/2001-2/56.pdf> (дата обращения: 02.10.2024).
3. Баданина, Ю.В. Композиционные материалы в ракетно-космической технике: учеб. пособие / Ю.В. Баданина, В.Д. Баскаков, А.Л. Галиновский [и др.]; под ред. Г.В. Малышевой. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2019. – 40 с. – ISBN: 978-5-7038-5136-4. – EDN: MМVBAE.
 4. Васильев, В.В. Композитные материалы в аэрокосмической технике / В.В. Васильев // Все материалы. Энциклопедический справочник – 2012. – № 7. – С. 2–7. – EDN: PAZTKP.
 5. Барботько, С.Л. Оценка пожарной безопасности полимерных композиционных материалов для внешнего контура авиационной техники / С.Л. Барботько, Е.Н. Шуркова, О.С. Вольный, Н.С. Скрылев // Авиационные материалы и технологии. – 2013. – № 1 (26). – С. 56–59. – EDN: PUOYAV.
 6. Sun, S. New progress in the application of flame-retardant modified epoxy resins and fire-retardant coatings / S. Sun, Q. Yu, B. Yu, F. Zhou // Coatings. – 2023. – Vol. 13, Iss. 10. – Article 1663. – 23 p. – DOI: 10.3390/coatings13101663.
 7. Бондарь, К.Я. Полимерные строительные материалы: справ. пособие / К.Я. Бондарь, В.Л. Ершов, М.Г. Соломенко. – М.: Стройиздат, 1974. – 268 с.
 8. Troitzsch, J. Plastics flammability handbook: Principles, regulations, testing, and approval / J. Troitzsch. – Munich: Hanser Gardner Publications, 2004. – 748 p.
 9. Васильев, А.А. Дефекты и повреждения строительных конструкций: учеб. пособие / А.А. Васильев. – Гомель: БелГУТ, 2012. – 361 с. – EDN: SKDNBB.
 10. Баренблатт, Г.И. Горение и взрыв / Г.И. Баренблатт // Горение и взрыв: материалы Третьего Всесоюзного симпозиума по горению и взрыву, 5–10 июля 1971 г. / Акад. наук СССР, М-во высш. и сред. спец. образования РСФСР, М-во хим. пром-сти СССР; отв. ред. Л.Н. Стесик. – М.: Наука, 1972. – С. 15–23.
 11. Михайлин, Ю.А. Тепло-, термо- и огнестойкость полимерных материалов / Ю.А. Михайлин. – СПб.: Научные основы и технологии, 2011. – 416 с.
 12. Константинова, Н.И. К вопросу об оценке эффективности огнезащитных полимерных материалов / Н.И. Константинова, Н.В. Смирнов, А.Ю. Шебеко // Пожаровзрывобезопасность. – 2018. – Т. 27, № 7–8. – С. 32–42. – DOI: 10.18322/pvb.2018.27.7-8.32-42. – EDN: XYXVHN.
 13. Баженов, С.Л. Полимерные композиционные материалы: монография / С.Л. Баженов, А.А. Берлин, А.А. Кульков, В.Г. Ошмян. – Долгопрудный: Интеллект, 2010. – 352 с. – ISBN 978-5-91559-045-7.
 14. Ушков, В.А. Воспламеняемость и дымообразующая способность полимерных композиционных материалов / В.А. Ушков // Вестник МГСУ. – 2017. – Т. 12, № 8 (107). – С. 897–903. – EDN: ZFBXXR.
 15. Ломакин, С.М. Замедлители горения для полимеров / С.М. Ломакин, Г.Е. Заиков, А.К. Микитаев, [и др.] // Вестник Казанского технологического университета. – 2012. – Т. 15, № 7. – С. 71–86. – EDN: LXNTRB.
 16. Ушков, В.А. Разработка научных основ получения полимерных строительных материалов с пониженной пожарной опасностью: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.16.09 / Ушков Валентин Анатольевич; Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. – Москва, 2020. – 46 с.
 17. Жирикова, З.М. Огнестойкость полимерных материалов и способы ее повышения / З.М. Жирикова, В.З. Алоев, М.А. Тарчокова // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В.М. Кокова. – 2019. – № 3 (25). – С. 43–48. – EDN: MYEGQE.
 18. Власенко, Ф.С. Применение полимерных композиционных материалов в строительных конструкциях / Ф.С. Власенко, А.Е. Раскутин // Труды ВИАМ. – 2013. – № 8. – Статья 3. – EDN: RAEFMB.
 19. Гаращенко, А.Н. Обеспечение требуемых показателей пожарной безопасности конструкций из полимерных композиционных материалов с помощью огнезащиты / А.Н. Гаращенко, В.П. Рудзинский, В.О. Каледин // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2013. – № 8 (145). – С. 143–149. – EDN: RAJJBN.
 20. Кодолов, В.И. Горючесть и огнестойкость полимерных материалов / В.И. Кодолов. – М.: Химия, 1976. – 160 с.
 21. Дудченко, А.А. Анизотропные многослойные пластины и оболочки / А.А. Дудченко, С.А. Лурье, И.Ф. Образцов // Итоги науки и техники. Серия: Механика деформируемого твердого тела. – М.: ВИНТИ, 1983. – Т. 15. – С. 3–68.
 22. Петрюк, И.П. Материаловедение. Полимерные материалы и композиты: учеб. пособие: в 2 ч. / И.П. Петрюк. – Волгоград: ИУНЛ ВолгГТУ, 2011. – Ч. 1. – 68 с. – ISBN 978-5-9948-0852-8.

23. Романенков, И.Г. Огнезащита строительных конструкций / И.Г. Романенков, Ф.А. Левитес. – М.: Стройиздат, 1991. – 320 с.
24. Albert, С.М. Recent development and challenges in enhancing fire performance on wood and wood-based composites: A 10-year review from 2012 to 2021 / С.М. Albert, К.С. Liew // *Journal of Bioresources and Bioproducts*. – 2024. – Vol. 9, Iss. 1. – P. 27–42. – DOI: 10.1016/j.jobab.2023.10.004.
25. Голованов, В.И. Экспериментальные и аналитические исследования огнестойкости сплошной бетонной плиты со стальной и композитной арматурой / В.И. Голованов, В.В. Павлов, А.В. Пехотиков // *Пожарная безопасность*. – 2013. – № 2. – С. 44–51. – EDN: QZBNQX.
26. Ширко, А.В. Определение механических свойств композитной арматуры с учетом температурного воздействия / А.В. Ширко, А.Н. Камлюк, А.В. Спиглазов, А.С. Дробыш // *Механика машин, механизмов и материалов*. – 2015. № 2 (31). – С. 59–65. – EDN: TWAIDH.
27. Камлюк, А.Н. Влияние теплового воздействия пожара на механические свойства композитной арматуры / А.Н. Камлюк, А.В. Ширко, А.В. Спиглазов, А.С. Дробыш // *Вестник Командно-инженерного института МЧС Республики Беларусь*. – 2015. – № 2 (22). – С. 4–11. – EDN: UHHCAD.
28. Борисова, Т.А. Исследование влияния температурного воздействия на работу стеклопластиковой арматуры в бетонных конструкциях / Т.А. Борисова, Т.А. Зиннуров, А.Н. Куклин // *Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета*. – 2018. – № 2 (44). – С. 136–144. – EDN: XQCNJJ.
29. Асеева, Р.М. Снижение горючести полимерных материалов / Р.М. Асеева, Г.Е. Заиков. – М.: Знание, 1981. – 64 с.
30. Гаращенко, А.Н. Способы и средства обеспечения требуемых показателей пожаробезопасности конструкций из полимерных композитов (обзор) / А.Н. Гаращенко, А.А. Берлин, А.А. Кульков // *Пожаровзрывобезопасность*. – 2019. – Т. 28, № 2. – С. 9–30. – DOI: 10.18322/PVB.2019.28.02.9-30. – EDN: FLHRNA.
31. Каблов, В.Ф. Исследование эффективности огнетеплозащитного вспучивающегося покрытия на основе перхлорвинилового смолы для стеклопластика / В.Ф. Каблов, Н.А. Кейбал, С.Н. Бондаренко [и др.] // *Вестник Казанского технологического университета*. – 2013. – Т. 16, № 13. – С. 119–122. – EDN: QLQCEZ.
32. Гаращенко, А.Н. Огнезащита конструкций из полимерных композитов и оценка ее эффективности / А.Н. Гаращенко, А.В. Суханов, Н.А. Гаращенко [и др.] // *Пожаровзрывобезопасность*. – 2009. – Т. 18, № 5. – С. 15–24. – EDN: KTYGMD.
33. Гаращенко, Н.А. Огнезащита конструкций из полимерных композитов и оценка ее эффективности / Н.А. Гаращенко // *Пожаровзрывобезопасность*. – 2006. – Т. 15, № 2. – С. 12–16. – EDN: HUIZXV.
34. Кудряшов, В.А. Методика оценки огнестойкости полимерных композитных материалов и параметров необходимой огнезащиты / Ю.С. Иванов, А.Г. Яцукович, В.А. Кудряшов, А.С. Дробыш // *Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация*. – 2015. – № 1 (37). – С. 55–65. – EDN: WDKVQH.
35. Павлов, В.В. Прочность конструкций из стеклопластиков при повышенных и высоких температурах: автореферат дис. ... доктора технических наук: 01.02.06 / Павлов Виктор Павлович; Уфимский гос. авиац. техн. ун-т (УГАТУ). – Уфа, 2005. – 32 с.
36. Кудряшов, В.А. Результаты экспериментальных исследований огнестойкости полимерных композитных материалов, армированных стекловолокном / В.А. Кудряшов, А.С. Дробыш, А.М. Соловьянчик // *Вестник Командно-инженерного института МЧС Республики Беларусь*. – 2015. – № 1 (21). – С. 17–24. – EDN: ТКPYGP.
37. Корольченко, А.Я. Расчеты толщин огнезащиты, обеспечивающих требуемые показатели пожарной опасности деревоклееных конструкций / А.Я. Корольченко, А.Н. Гаращенко, Н.А. Гаращенко, В.П. Рудзинский // *Пожаровзрывобезопасность*. – 2008. – Т. 17, № 3. – С. 49–56. – EDN: KNUAMJ.
38. Басакович, И.А. Огнезащитная эффективность гипсовых плит Knauf Fireboard для вертикальных стальных профилей различного сортамента / И.А. Басакович, С.С. Ботян, С.М. Жамойдик [и др.] // *Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси*. – 2019. – Т. 3, № 3. – С. 268–282. – DOI: 10.33408/2519-237X.2019.3-3.268. – EDN: JCWJCS.
39. Кудряшов, В.А. Экспериментальные исследования огнестойкости полимерных композитных конструкций с огнезащитой / В.А. Кудряшов, И.И. Полевода, А.С. Дробыш, А.М. Соловьянчик // *Вестник Командно-инженерного института МЧС Республики Беларусь*. – 2015. – № 1 (21). – С. 25–29. – EDN: ТКPYGZ.

**Особенности применения полимерных композитных материалов
и конструкций в строительстве**

Features of application of polymer composite materials and structures in construction

Кудряшов Вадим Александрович

кандидат технических наук, доцент

Государственное учреждение образования
«Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям
Республики Беларусь», кафедра
пожарной безопасности, профессор

Адрес: ул. Машиностроителей, 25,
220118, Беларусь, г. Минск

Email: vatkud@gmail.com

SPIN-код: 1417-4096

Vadim A. Kudryashov

PhD in Technical Sciences, Associate Professor

State Educational Establishment «University
of Civil Protection of the Ministry for Emergency
Situations of the Republic of Belarus»,
Chair of Fire Safety, Professor

Address: Mashinostroiteley str., 25,
220118, Belarus, Minsk

Email: vatkud@gmail.com

ORCID: 0000-0003-4889-1060

Дробыш Антон Сергеевич

Государственное учреждение образования
«Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям
Республики Беларусь», отдел научной
и инновационной деятельности,
начальник отдела

Адрес: ул. Машиностроителей, 25,
220118, Беларусь, г. Минск

Email: aantox@mail.ru

SPIN-код: 3169-0097

Anton S. Drobysch

State Educational Establishment «University
of Civil Protection of the Ministry for Emergency
Situations of the Republic of Belarus»,
Department of Scientific and Innovation Activity,
Head of Department

Address: Mashinostroiteley str., 25,
220118, Belarus, Minsk

Email: aantox@mail.ru

ORCID: 0000-0002-9528-3108

FEATURES OF APPLICATION OF POLYMER COMPOSITE MATERIALS AND STRUCTURES IN CONSTRUCTION

Kudryashov V.A., Drobysh A.S.

Purpose. To analyze the available experimental and theoretical studies to determine the fire hazard properties of polymer composite materials and structures, as well as the possibility of their application in construction.

Methods. Review, analysis and comparison of existing results of experimental and theoretical studies on the investigated subject.

Findings. The review was carried out and the main problems of application of polymer composite (fiberglass) materials and structures in the design and construction of buildings and structures were revealed. The results of domestic and foreign experimental and theoretical studies have been considered. The area of application of polymer composite (fiberglass) materials and structures with regard to fire safety requirements of normative documents in the field of construction is determined.

Application field of research. Design and construction of buildings and structures using polymer composite (fiberglass) materials and structures.

Keywords: composite materials, fiberglass, combustibility, fire resistance, fire protection, experimental studies, fire hazard, critical temperature.

(The date of submitting: October 14, 2024)

REFERENCES

1. Khan F., Hossain N., Mim J.J., Rahman SM M., Iqbal Md. J., Billah M., Chowdhury M.A. Advances of composite materials in automobile applications – A review. *Journal of Engineering Research*, 2024. DOI: 10.1016/j.jer.2024.02.017.
2. Zelenskiy E.S., Kuperman A.M., Gorbatkina Yu.A., Berlin A.A., Ivanova-Mumzhieva V.G. Armirovannye plastiki – sovremennye konstruktivnyye materialy [Reinforced plastics – modern construction materials]. *Rossiyskiy khimicheskiy zhurnal*, 2002. Vol. 45, No. 2. Pp. 56–74. (rus). URL: <https://www.chem.msu.ru/rus/jvho/2001-2/56.pdf> (date of access: October 2, 2024). (rus)
3. Badanina Yu.V., Baskakov V.D., Galinovskiy A.L., Nelyub V.A., Zarubina O.V., Malysheva G.V. *Kompozitsionnye materialy v raketno-kosmicheskoy tekhnike [Composite materials in rocket and space techniques]*: tutorial. Moscow: Bauman Moscow State Technical University, 2019. 40 p. (rus). ISBN: 978-5-7038-5136-4. EDN: MMVBAE.
4. Vasil'ev V.V. *Kompozitnye materialy v aerokosmicheskoy tekhnike [Composite materials in aerospace techniques]*. *Vse Materialy. Entsiklopedicheskii Spravochnik*, 2012. No. 7. Pp. 2–7. (rus). EDN: PAZTKP.
5. Barbot'ko S.L., Shurkova E.N., Vol'nyy O.S., Skrylev N.S. Otsenka pozharnoy bezopasnosti polimernykh kompozitsionnykh materialov dlya vneshnego kontura aviatsionnoy tekhniki [Evaluation of polymer composite fire-safety for the outer contour of aeronautical engineering]. *Aviation Materials and Technologies*, 2013. No. 1 (26). Pp. 56–59. (rus). EDN: PUOYAV.
6. Sun S., Yu Q., Yu B., Zhou F. New progress in the application of flame-retardant modified epoxy resins and fire-retardant coatings. *Coatings*, 2023. Vol. 13, Iss. 10. Article 1663. 23 p. DOI: 10.3390/coatings13101663.
7. Bondar' K.Ya., Ershov V.L., Solomenko M.G. *Polimernye stroitel'nye materialy [Polymeric building materials]*: reference manual. Moscow: Stroyizdat, 1974. 268 p. (rus)
8. Troitzsch J. *Plastics flammability handbook: Principles, regulations, testing, and approval*. Munich: Hanser Gardner Publications, 2004. 748 p.
9. Vasil'ev A.A. *Defekty i povrezhdeniya stroitel'nykh konstruktiv [Defects and damage of building structures]*: tutorial. Gomel: Belarusian State University of Transport, 2012. 361 p. (rus). EDN: SKDNBB.
10. Barenblatt G.I. Gorenje i vzryv [Combustion and explosion]. *Proc. of the Third All-Union Symposium on Combustion and Explosion, July 5-10, 1971*. Academy of Sciences of USSR. Moscow: Nauka, 1972. Pp. 15–23. (rus)
11. Mikhaylin Yu.A. *Teplo-, termo- i ognestoykost' polimernykh materialov [Heat, thermal and fire resistance of polymeric materials]*. St. Petersburg: Nauchnye osnovy i tekhnologii, 2011. 416 p. (rus)

12. Konstantinova N.I., Smirnov N.V., Shebeko A.Yu. K voprosu ob otsenke effektivnosti ognezashchitnykh polimernykh materialov [Revisiting the assessment of polymeric materials fire protection efficiency] *Fire and Explosion Safety*, 2018. Vol. 27. No. 7–8. Pp. 32–42. (rus). DOI: 10.18322/pvb.2018.27.7-8.32-42. EDN: XYXVHN.
13. Bazhenov S.L., Berlin A.A., Kul'kov A.A., Oshmyan V.G. *Polimernye kompozitsionnye materialy [Polymer composite materials]*: monograph. Dolgoprudny: Intellekt, 2010. 352 p. (rus). ISBN 978-5-91559-045-7.
14. Ushkov V.A. Vosplamenyayemost' i dymoobrazuyushchaya sposobnost' polimernykh kompozitsionnykh materialov [Inflammability and smoke-generating ability of polymer composite materials]. *Vestnik MGSU*, 2017. Vol. 12, No. 8 (107). Pp. 897–903. (rus). EDN: ZFBXXR.
15. Lomakin S.M., Zaikov G.E., Mikitaev A.K., Kochnev A.M., Stoyanov O.V., Shkodich V.F., Naumov S.V. Zamedliteli goreniya dlya polimerov [Combustion retardants for polymers]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*, 2012. Vol. 15, No. 7. Pp. 71–86. (rus). EDN: LXNTRB.
16. Ushkov V.A. *Razrabotka nauchnykh osnov polucheniya polimernykh stroitel'nykh materialov s ponizhennoy pozharnoy opasnost'yu [Development of scientific bases for obtaining polymeric building materials with reduced fire hazard]*: Grand PhD tech. sci. diss. Synopsis: 05.16.09. Moscow State University of Civil Engineering (National Research University). Moscow, 2020. 46 p. (rus)
17. Zhirikova Z.M., Alov V.Z., Tarchokova M.A. Ognestoykost' polimernykh materialov i sposoby ee povysheniya [Fire resistance of polymeric materials and methods of their improvements]. *Izvestiya of Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V. M. Kokov*, 2019. No. 3 (25). Pp. 43–48. (rus). EDN: MYEGQE.
18. Vlasenko F.S., Raskutin A.E. Primenenie polimernykh kompozitsionnykh materialov v stroitel'nykh konstruktsiyakh [Applying frp in building structures]. *Trudy VIAM*, 2013. No. 8. Article 3. EDN: RAEFMB.
19. Garashchenko A.N., Rudzinskiy V.P., Kaledin V.O. Obespechenie trebuemykh pokazateley pozharobezopasnosti konstruktsiy iz polimernykh kompozitsionnykh materialov s pomoshch'yu ognezashchity [Use of fire protection for reducing fire hazard of polymer composites and structures on their basis]. *Izvestiya SFedU. Engineering Sciences*, 2013. No. 8 (145). Pp. 143–149. EDN: RAJJBH.
20. Kodolov V.I. *Goryuchest' i ognestoykost' polimernykh materialov [Flammability and fire resistance of polymer materials]*. Moscow: Khimiya, 1976. 160 p. (rus)
21. Dudchenko A.A., Lur'e S.A., Obratsov I.F. Anizotropnye mnogosloynnye plastiny i obolochki [Anisotropic multilayer plates and shells]. *Itogi nauki i tekhniki. Seriya: Mekhanika deformiruemogo tverdogo tela*. Moscow: VINITI, 1983. Vol. 15. Pp. 3–68. (rus)
22. Petryuk I.P. *Materialovedenie. Polimernye materialy i kompozity [Materials science. Polymer materials and composites]*: tutorial: in 2 parts. Volgograd: Volgograd State Technical University, 2011. Part 1. 68 p. (rus). ISBN 978-5-9948-0852-8.
23. Romanenkov I.G., Levites F.A. *Ognezashchita stroitel'nykh konstruktsiy [Fire protection of building structures]*. Moscow: Stroyizdat, 1991. 320 p. (rus)
24. Albert C.M., Liew K.C. Recent development and challenges in enhancing fire performance on wood and wood-based composites: A 10-year review from 2012 to 2021. *Journal of Bioresources and Bioproducts*, 2024. Vol. 9, Iss. 1. P. 27–42. DOI: 10.1016/j.jobab.2023.10.004.
25. Golovanov V.I., Pavlov V.V., Pekhotikov A.V. Eksperimental'nye i analiticheskie issledovaniya ognestoykosti sploshnoy betonnoy plity so stal'noy i kompozitnoy armaturoy [Experimental and analytical researches into fire resistance of continuous concrete slab with steel and composite reinforcement]. *Fire Safety*, 2013. No. 2. Pp. 44–51. (rus). EDN: QZBNQX.
26. Shirko A.V., Kamlyuk A.N., Spiglazov A.V., Drobyshev A.S. Opredelenie mekhanicheskikh svoystv kompozitnoy armatury s uchetom temperaturnogo vozdeystviya [Composite reinforcement strength and stiffness analysis in temperature field view]. *Mechanics of machines, mechanisms and materials*, 2015. No. 2 (31). Pp. 59–65. (rus). EDN: TWAIDH.
27. Kamlyuk A.N., Shirko A.V., Spiglazov A.V., Drobyshev A.S. Vliyanie teplovogo vozdeystviya pozhara na mekhanicheskie svoystva kompozitnoy armatury [Influence of thermal effects of fire on mechanical properties composite reinforcement] *Vestnik Komandno-inzhenerenogo instituta MChS Respubliki Belarus'*, 2015. No. 2 (22). Pp. 4–11. (rus). EDN: UHHCAD.

28. Borisova T.A., Zinnurov T.A., Kuklin A.N. Issledovanie vliyaniya temperaturnogo vozdeystviya na rabotu stekloplastikovoy armatury v betonnykh konstruktsiyakh [Investigation of the influence of temperature impact on the work of fiberglass reinforcement in concrete structures]. *News of the KSUAE*, 2018. No. 2 (44). Pp. 136–144. (rus). EDN: XQCNJJ.
29. Aseeva R.M., Zaikov G.E. *Snizhenie goryuchesti polimernykh materialov [Reducing the flammability of polymer materials]*. Moscow: Znanie, 1981. 64 p. (rus)
30. Garashchenko A.N., Berlin A.A., Kul'kov A.A. Sposoby i sredstva obespecheniya trebuyemykh pokazateley pozharobezопасnosti konstruktsiy iz polimernykh kompozitov (obzor) [Methods and means for providing required fire-safety indices of polymer composite structures]. *Fire and Explosion Safety*, 2019. Vol. 28, No. 2. Pp. 9–30. (rus). DOI: 10.18322/PVB.2019.28.02.9-30. EDN: FLHRNA.
31. Kablov V.F. Keybal N.A., Bondarenko S.N., Lobanova M.S., Garashchenko A.N., Zaikov G.E. Issledovanie effektivnosti ogneplozashchitnogo vspuchivayushchegosya pokrytiya na osnove perkhlorvinilovoy smoly dlya stekloplastika [Investigation of the effectiveness of a fire-heat-protective swelling coating based on perchlorovinyl resin for fiberglass]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*, 2013. Vol. 16, No. 13. Pp. 119–122. (rus). EDN: QLQCEZ.
32. Garashchenko A.N., Sukhanov A.V., Garashchenko N.A., Rudzinskiy V.P., Marakhovskiy S.S. Ognезashchita konstruktsiy iz polimernykh kompozitov i otsenka ee effektivnosti [Fire protection of structures made of polymer composites and evaluation of its effectiveness]. *Fire and Explosion Safety*, 2009. Vol. 18, No. 5. Pp. 15–24. (rus). EDN: KTYGMD.
33. Garashchenko N.A. Ognезashchita konstruktsiy iz polimernykh kompozitov i otsenka ee effektivnosti [Fire protection of structures made of polymer composites and evaluation of its effectiveness]. *Fire and Explosion Safety*, 2006. Vol. 15, No. 2. Pp. 12–16. (rus). EDN: HUIZXV.
34. Kudryashov V.A., Ivanov Yu.S., Drobysh A.S., Yatsukovich A.G. Metodika otsenki ognestoykosti polimernykh kompozitnykh materialov i parametrov neobkhodimoy ognезashchity [Methods of assessing the fire resistance of polymer composite materials and parameters of necessary fire protection]. *Emergency Situations: Prevention and Elimination*, 2015. No. 1 (37). Pp. 55–65. (rus). EDN: WDKVQH.
35. Pavlov V.V. *Prochnost' konstruktsiy iz stekloplastikov pri povyshennykh i vysokikh temperaturakh [Strength of fiberglass structures at elevated and high temperatures]*. Grand PhD tech sci. diss. synopsis: 01.02.06. Ufa State Technical Aviation University. Ufa, 2005. 32 p. (rus)
36. Kudryashov V.A., Drobysh A.S., Solov'yanchik A.M. Rezul'taty eksperimental'nykh issledovaniy ognestoykosti polimernykh kompozitnykh materialov, armirovannykh steklovoloknom [Results of experimental researches fire resistance of polymer composite materials reinforced with fiberglass]. *Vestnik Komandno-inzhenernogo instituta MChS Respubliki Belarus'*, 2015. No. 1 (21). Pp. 17–24. (rus). EDN: TKPYGP.
37. Korol'chenko A.Ya., Garashchenko A.N., Garashchenko N.A., Rudzinskiy V.P. Raschety tolshchin ognезashchity, obespechivayushchikh trebuyemye pokazateli pozharной opasnosti derevokleennykh konstruktsiy [Calculations of fire protection thicknesses providing the required fire hazard indicators of wood-glued structures]. *Fire and Explosion Safety*, 2008. Vol. 17, No. 3. Pp. 49–56. (rus). EDN: KNUAMJ.
38. Basakovich I.A., Botyan S.S., Zhamoydik S.M., Kudryashov V.A., Osyayev V.A., Palevoda I.I. Ognезashchitnaya effektivnost' gipsovykh plit Knauf Fireboard dlya vertikal'nykh stal'nykh profiley razlichnogo sortamenta [Knauf Fireboard fire protection efficiency for vertical steel profiles of various cross section shapes]. *Journal of Civil Protection*, 2019. Vol. 3, No. 3. Pp. 268–282. (rus). DOI: 10.33408/2519-237X.2019.3-3.268. EDN: JCWJCS.
39. Kudryashov V.A., Polevoda I.I., Drobysh A.S., Solov'yanchik A.M. Eksperimental'nye issledovaniya ognestoykosti polimernykh kompozitnykh konstruktsiy s ognезashchitoy [Experimental researches fire resistance of polymer composite structures with fire protection]. *Vestnik Komandno-inzhenernogo instituta MChS Respubliki Belarus'*, 2016. No. 1 (21). Pp. 25–29. (rus). EDN: TKPYGZ.

Copyright © 2024 Kudryashov V.A., Drobysh A.S.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.