



Research Article
Received: September 17, 2023

Accepted: September 26, 2023

Published: October 25, 2023

ISSN 2658–5553

Fire-resistant frame-podium for the translucent covering of the atrium

Masenene, Aleksandra Ruslanovna¹ 

¹ Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University, St.Petersburg, Russian Federation;
masyonene.ar@gmail.com (M.A.R.)

Correspondence:* email masyonene.ar@gmail.com; contact phone [+79112770150](tel:+79112770150)

Keywords:

Fire resistance; Atrium; Fiberglass composite; Translucent coating; Transformable atrium; Glass composite structures

Abstract:

The object of research is the fire resistance of an element of a translucent covering of an atrium with a frame-podium made of glass composite filled with foam glass. **Method.** The testing method to determine fire resistance limits was based on standard methodology. The following were recorded during the tests: temperature and pressure in the furnace, behavior, and sample deflection. **Results.** The fire resistance limit of a glass-composite podium frame has been determined. A graph of the dependence of the deformation (deflection) of the element on the temperature and time of exposure to flame was obtained. No relationship between pressure changes in the furnace and the behavior of the sample was revealed.

1 Introduction

Конструкции светопрозрачных покрытий атриумов постоянно совершенствуются и изменяются на протяжении всей истории строительства.

Эксплуатируемые и трансформируемые атриумы, объединяющие отдельные блоки в образовательных учреждениях, появились сравнительно недавно и уже прочно вошли архитектурный облик кампусов университетов, обозначив общую парадигму использования открытых пространств. В холодном климате нашей страны строительство крытых светопрозрачных эксплуатируемых атриумов в образовательных учреждениях является перспективным направлением. К проектированию образовательных учреждений предъявляются повышенные требования безопасности, в том числе пожарной. В связи с этим, разработка конструктивных решений светопрозрачных покрытий таких атриумов является важной научной проблемой.

Развитие системы школ и лицеев, вызвало активное использование мирового архитектурного опыта в том числе в строительстве трансформируемых атриумных пространств. Одна из школ, спроектированная с трансформируемым светопрозрачным атриумом, школа имени Е.М. Примакова в Подмосковье, в поселке Раздоры Одинцовского района, Российская Федерация.

В статье рассматривается конструктивное решение светопрозрачного покрытия атриума школы имени Е.М. Примакова и результаты испытания на огнестойкость.

При проектировании комплекса зданий с трансформируемым атриумом была поставлена задача сделать максимально безопасные и комфортные условия для эксплуатации атриумного пространства, которое включает открытую библиотеку, сцену с трибунами, места для коммуникации и самоподготовки учеников. Важным критерием для разработки конструктивного решения было снижение теплопроводности покрытия для минимизации явления выпадения конденсата. Прямое опирание алюминиевых рам светопрозрачных элементов на металлоконструкции покрытия атриума не решало этой задачи. Для решения данной задачи



разработан конструктивный элемент – рама-подиум из стеклокомпозита с заполнением внутреннего пространства рамы энергоэффективным пеностеклом.

В статье рассмотрена конструкция светопрозрачного элемента покрытия атриума, приведены результаты его испытаний на огнестойкость.

Обзор исследований состава и огнестойкости стеклокомпозитных материалов и пеностекла.

В статье [1] представлен метод получения композитов эпоксидная смола/стеклоткань с пониженной горючестью и дымовыделением. Для этого были использованы две группы порошко-эпоксидных композиций, содержащих: полифосфат меламина (МПП) и диэтилфосфинат алюминия (AIDPI); полифосфат аммония (APP) и дипентаэритрит (DPE) использовались в качестве матриц в шестислойных композитах, армированных стеклотканью. Установлено, что с увеличением содержания бората цинка выделение дыма снижается.

В работе [2] композит, армированный углеродным волокном, был покрыт функциональными слоями стекловолокна, в которых стекловолоконная поверхность была обработана огнезащитными веществами и модифицированным силиконом полиуретаном на водной основе, чтобы придать ему огнезащитные свойства и жесткость конструкции. По сравнению с контрольными образцами, общее тепловыделение и общее дымовыделение для композитов с обработкой 8% силикон-модифицированного полиуретана на водной основе удалось снизить на 18.5% и 18.1%, в то время как прочность на растяжение и изгиб значительно увеличилась на 47.3% и 62.2%, соответственно.

В обзоре [3] основное внимание уделяется исследовательским работам по улучшению огнестойкости эпоксидного композита, армированного стекловолокном, за счет введения антипирена (FR) в полимерную матрицу и создания защитных огнестойких покрытий вокруг композита. В данной работе также обобщены исследования по геополимерам, которые применяются для повышения огнестойкости материалов на основе эпоксидной смолы.

В статье [4] исследовались характеристики воспламеняемости фталонитрильных композитных панелей, армированных стекловолокном E, изготовленных путем горячего прессования препрега с бис[4-(3-аминофеноксифенил)сульфоном (m-BAPS) в качестве отверждающей добавки. Определялись воспламеняемость, тепловыделение и скорость потери массы. При экстремальных тепловых потоках 100 кВт·м², такой композит превосходит другие композиты полимер/стекло. Сделан вывод, что фталонитрильные композиты на основе ресвератрола могут использоваться в огнестойких панелях.

В статье [5] описан способ получения быстроотверждаемых фталонитрильных препрегов. Углеродные и стекловолоконные ламинаты были изготовлены методом горячего прессования препрегов с T_g выше 300 °C. В углепластике образовались микротрещины, но был изготовлен стеклопластик без пустот, который продемонстрировал превосходные механические свойства (ILSS до 86 МПа; прочность на сжатие до 620 МПа; прочность на изгиб до 946 МПа). Испытания на воспламеняемость показали, что композит потух менее чем через 5 с после удаления источника пламени, поэтому материал можно классифицировать как V-0 в соответствии с рейтингами UL94.

В статье [6] описывается метод получения огнестойкого поли(бутиленсукцината), армированного стекловолокном (GRPBS). Композит получают методом смешивания в расплаве с использованием комбинации гипофосфита алюминия и цианурата меламина в качестве огнезащитной системы, что в значительной степени способствует улучшению огнестойкости этого композита.

В обзоре [7] рассмотрены процессы получения термостойких матриц для волокнистых пластиков (FRP) полимеризацией смол, состоящих из фталонитрильных мономеров и сомономеров, а также особенности технологий изготовления волокнистых пластиков. Проведено сравнение свойств стеклопластиков (GFRP) и углепластиков (CFRP), полученных отверждением различных фталонитрилов.

В обзоре [8] рассматриваются огнестойкие композиты PA6, армированные стекловолокном (GFPA6), которые были получены путем включения смеси пиперазинпирофосфата (PAPP) и гипофосфита алюминия (АНР) в GFPA6. Взаимодействие между PAPP/АНР и GFPA6 изменило путь разложения GFPA6, что привело к образованию компактного слоя угля, высокой термической стабильности в высокотемпературной области и слабой интенсивности различных газовых продуктов пиролиза.

В статье [9] представлены простые в использовании модели для определения остаточных свойств растяжения, сжатия и изгиба сгоревших полимерных композиционных материалов,

Masenene, A.

Fire-resistant frame-podium for the translucent covering of the atrium;

2023; *AlfaBuild*; 29 Article No 2907. doi: 10.57728/ALF.29.7



армированных волокном, после пожара. Проводились испытания на огнестойкость композитов, содержащих углеродные, стеклянные или кевларовые волокна с матрицей из эпоксидной, полиэфирной, винилэфирной или фенольной смолы. Композиты были испытаны в широком диапазоне условий пожара при температуре от 525 до 850 °С в течение времени до 30 мин. Установлено, что послепожарные свойства быстро падают с увеличением теплового потока и продолжительности пожара из-за термической деструкции полимерной матрицы.

В работе [10] исследовано совместное воздействие полифосфата аммония и талька на горючее и механическое поведение композитных систем эпоксид/стеклоткань и чистой эпоксидной смолы. Результаты демонстрируют, что введение добавок улучшает термостабильность эпоксидной смолы при высоких температурах. Кроме того, добавление антипиренов в эпоксидную смолу увеличивает модули растяжения и изгиба. Однако из-за несовместимости добавок с эпоксидной смолой прочность снижается. С другой стороны, композиты эпоксидной смолы и стеклоткани с огнезащитными добавками улучшили огнезащитные свойства без существенного влияния на механические характеристики.

В работе [11] были исследованы метакаолиновые геополимеры натриевого и калиевого типа (с $Si:Al > 2$), армированные тканями из стекловолокна (GF). Геополимерные матрицы показали стабильность до 700 °С, выше которой было обнаружено взаимодействие волокна с матрицей, прежде чем они кристаллизовались в разные фазы при 1000 °С. Время огнестойкости этих панелей (толщиной 12–17 мм) при установлении температурного профиля, аналогичного кривой огнестойкости ISO 834, составило 53.6–55.1 мин для композитов Na-GF и 53.2–68.7 мин для композитов K-GF.

В статье [12] проведено исследование композиций материалов с повышенными эксплуатационными характеристиками на основе многофункциональных огнезащитных эпоксидных смол. Рассмотренные ключевые ингредиенты включали ионные жидкости, фосфор, бор/нитрид бора, гидроксид алюминия, силикон, лигнин, графен, углеродные волокна, углеродные нанотрубки и глину. Кроме того, в этом обзоре освещены многофункциональные применения огнезащитных эпоксидных смол, факторы, влияющие на огнестойкость, а также методы определения характеристик.

В работе [13] исследованы изменения механических свойств стеклополиэфирных композитов после воздействия интенсивного лучистого тепла. Свойства растяжения, сжатия, изгиба и межламинарного сдвига быстро падали с увеличением теплового потока и времени теплового воздействия, главным образом, из-за обугливания и расслоения, вызванного горением композита. Существенно более высокие механические свойства после пожара были достигнуты, когда композит был защищен от лучистого тепла с помощью термобарьерного покрытия, которое задерживало начало горения. Представлены аналитические модели для определения свойств послепожарного растяжения, сжатия и изгиба.

В статье [14] показаны термические свойства типичного армирующего волокна для композитов. Представлены общие сведения об огнестойкости композитов, краткий обзор поведения композитов в огне для понимания термического поведения смол, а также средства улучшения огнестойкости и дымозащиты с использованием антипиренов, в которых не используются сурьмяно-бромные соединения, подвергающиеся сомнению с экологической и токсикологической точки зрения.

Статья [15] посвящена методу и механизму огнезащиты, а также статусу исследований в области огнестойкости FRPC. Обсуждаются огнезащитные методы обработки волокон, полимеров и композитов, а также представлены преимущества и ограничения каждого метода. Дан краткий обзор усиления огнезащиты для FRPC.

В статье [16] сообщается о влиянии различных массовых % содержания многостенных углеродных нанотрубок (MWCNTs) на воспламеняемость, водопоглощение, термическую стабильность и изгибные свойства эпоксидных композитов, армированных стеклотканью. Наивысшие прочность композита на изгиб (150 МПа) и модуль упругости при изгибе (12 ГПа) были достигнуты при 0.5 мас.% MWCNTs. При содержании выше 0.5 мас. % наблюдалось падение прочности и модуля упругости. Результаты этого исследования показали, что использование гибридного армирования, содержащего MWCNTs, может помочь значительно улучшить огнестойкость, водопоглощение и механические свойства армированных композитов за счет включения оптимального количества MWCNTs.

Полиарилэфирэфиркетон (PEEK) является одним из технических полимеров. Было опубликовано мало работ по воспламеняемости PEEK и его наполненных композитов.

Masenene, A.

Fire-resistant frame-podium for the translucent covering of the atrium;
2023; *AlfaBuild*; 29 Article No 2907. doi: 10.57728/ALF.29.7



Исследование [17] направлено на оценку воспламеняемости и огнестойкости РЕЕК и его композитов с использованием термогравиметрического анализа, пиролизной калориметрии потока горения, предельного кислородного индекса, испытания на вертикальную огнестойкость и огневой (конусной) калориметрии.

В работе [18] систематизированы и проанализированы теоретические и прикладные подходы к оценке тепло-, термо- и огнестойкости (термоустойчивости) полимеров, полимерных материалов, полимерных композиционных материалов. Рассмотрены параметры, определяющие взаимосвязь строения полимера с его термоустойчивостью, способы ее повышения. Приведены типы термоустойчивых полимеров.

В работе [19] рассмотрены принципы создания, составы, технологические способы переработки полимерных композиционных материалов, в основном, использующих в качестве наполнителей непрерывные высокопрочные высокомодульные волокна и формы из них, конструкционных терморезистивных и термопластичных волокнистых полимерных композиционных материалов, стекло-, органо-, углепластиков, поливолоконистых ВПКМ, многослойных, сотовых, броневых, радиоэкранирующих, радиопоглощающих, пиролизированных, теплозащитных, интеллектуальных, наноконпозиционных.

В работе [20] приведена информация о принципах создания, составах, структуре, свойствах, ассортименте конструкционных полимерных композиционных материалов, в основном использующих в качестве наполнителей непрерывные минеральные, полимерные, углеродные волокна и текстильные формы из них (нити, ленты, ткани). Рассмотрены армированные терморезистивные и термопластичные стекло-, органо-, углепластики (ВПКМ), поливолоконистые (гибридные) ВПКМ, многослойные металл-полимерные (супергибридные) материалы.

В монографии [21] изложены комплексные представления о производстве пеноматериалов. Приведены классификация и свойства пеностекла, составы стекол и виды газообразователей, способы получения ячеистой структуры. Представлены материалы по производству и применению пеностекла в строительстве. Рассмотрены вопросы использования отходов стекла и отходов производства жидкого стекла в производстве пеноматериалов.

В статье [22] рассмотрены представления о механизмах горения полимеров, в том числе резин и полимерных композиционных материалов, даны общие сведения о теплозащитных материалах и системный подход к их получению. Проанализировано применение различных огнезащитных покрытий, рассмотрен механизм действия огнетеплозащитных покрытий. Представлены результаты исследований по получению и применению фосфорборазотсодержащих антипиренов. Описаны основные компоненты, входящие в состав огнетеплозащитных покрытий на основе перхлорвинилового смолы и хлорсульфированного полиэтилена.

В статье [23] рассказывается о композиционных материалах (композитах). Примеры самых распространенных композитов в строительстве. Достоинства и недостатки композиционных материалов.

В работе [24] приведены данные о структуре, свойствах и практическом применении композиционных материалов. Важным аспектом в области пожарной безопасности является снижение горючести изделий и конструкций на основе композитов. Решение этой проблемы заключается в подборе соответствующих антипиренов и использование различных методов оценки их эффективности. Наиболее перспективным направлением снижения горючести композиционных материалов являются композиции, в которых добавки для снижения горючести работают по интумесцентному принципу. Однако в ряде случаев применение минеральных антипиренов типа гидроксида алюминия (иногда в смеси с другими добавками) экономически и технологически оправдано.

В статье [25] приведены исследования по разработке составов и технологии пеностекла на основе природного и техногенного сырья, а также шихт для производства изделий из пеностекла и пенокристаллического материала. Средняя плотность разработанных теплоизоляционных и теплоизоляционно-конструкционных пеностекол находится в пределах 150–750 кг/м³; коэффициент теплопроводности - 0.03–0.11; водопоглощение 0.8–0.9 %, прочность при сжатии – 3.5–9.0 МПа.

Приведенные исследования показывают перспективность и актуальность научной деятельности, направленной на разработку новых конструктивных решений с использованием огнестойких стеклокомпозитных материалов и пеностекла.



Целью данной работы является анализ огнестойкости элемента светопрозрачного покрытия атриума с рамой-подиумом из заполненного пеностеклом стеклокомпозита на примере элемента покрытия атриума в школе имени Е.М. Примакова в пос. Раздоры Одинцовского района.

Были поставлены следующие задачи:

1. Рассмотреть виды и характеристики стеклокомпозитных материалов и пеностекла.
2. Проанализировать научные исследования в области пожаростойкости стеклокомпозитных материалов и пеностекла.
3. Исследовать конструкцию элемента светопрозрачного покрытия атриума на пожаростойкость.
4. Сделать соответствующие выводы.

Термин «Атриум» происходит от древнегреческого «Атрий» и в первичном понимании означало открытый внутренний двор в жилом здании, в который выходили внутренние помещения дома.

Под «Атриумом», понимают коммуникационное и рекреационное пространство на полную высоту здания с покрытием светопрозрачной конструкцией.

2 Materials and Methods

Композиционные материалы – это материалы, состоящие из двух или более компонентов неразводимых друг в друге с итоговыми свойствами, не повторяющими сумму свойств составляющих.

В состав композиционного материала входит два типа компонентов: связующее и армирующее вещество. Связующее окружает и фиксирует армирующий компонент, придает изделию форму. Армирующий компонент усиливает свойства матрицы. Наиболее распространены следующие виды связующих: полиэфирные, эпоксидные и фенольные. Связующие можно разделить на термопласты (способные размягчаться и затвердевать в зависимости от температуры) и реактопласты, терморезистивные смолы (связующие, затвердевают в процессе формования изделия). Наибольшее распространение получили терморезистивные связующие [26].

Огнестойкость стеклокомпозитных материалов зависит от состава используемого полимера (связующего).

Для получения трудногорючих и негорючих стеклополимеров используются следующие виды смол: фенолоформальдегиднофурфуроловые смолы, полиэфирные смолы и полиамиды.

Разработан большой ассортимент связующих смол с различными наполнителями для создания термостойких и негорючих стеклопластиков. Например, ненасыщенные полиэфирные смолы могут содержать встроенные в молекулы галогены, стирол, метилакрилат, ортофталевую кислоту и другие наполнители, которые позволяют добиться низкой степени горючести стеклопластика и выделения малого количества токсичных дымов при горении.

У стеклополимеров термостойкого типа высокая механическая прочность, они выдерживают не менее 300 °С без ущерба для физико-механических показателей.

Для жилых и общественных зданий рекомендуется использовать композитные материалы на основе полиэфирных и метакрилатных смол.

Критерием выбора того или иного материала является стоимость, а также требования к огнестойкости и дымовыделению.

Для внутреннего заполнения рамы-подиума использовалось пеностекло, что позволило улучшить не только прочностные характеристики изделия, но также снизить теплопроводность и повысить огнестойкость.

Пеностекло производится из следующих компонентов:

В качестве основного сырьевого компонента для изготовления изделий из пеностекла применяются стеклобой и стеклогранулят. Для корректировки состава пеностекла в шихту добавляют перлитовую и базальтовую породы, вспученный перлит, нефелиновый сиенит, щелочесодержащие породы, цеолитсодержащие туфы с исключением энергоемкой стадии стекловарения, природный кварцевый песок и раствор щелочи. Для синтеза гранулята по низкотемпературной технологии применяют низко- и высококальциевое золошлаковое сырье с корректировкой шихты кальцинированной содой и тонкодисперсным кремнеземом. В качестве пенообразователя применяются карбонатные породы, уголь, смесь кальцинированной соды с глицерином [25].

Masenene, A.

Fire-resistant frame-podium for the translucent covering of the atrium;
2023; *AlfaBuild*; 29 Article No 2907. doi: 10.57728/ALF.29.7



В рассматриваемом изделии в качестве упрочняющего заполнителя и дополнительной теплоизоляции применялось пеностекло марки «Foamglass T3+», производства Owens Corning FOAMGLAS®, Тессендерло (Бельгия). Данное пеностекло обладает следующими характеристиками [27]:

Плотность - 100 кг/м³;

Теплопроводность λБ – 0.039 Вт/м·°С;

Предел прочности на сжатие – 53 т/м²;

Предел прочности при изгибе – 31.6 т/м²;

Водопоглощение - не более 0.5 кг/м²;

Класс горючести по EN 13501–01: Еврокласс А1 (негорючий материал, не выделяющий токсичных газов);

Толщина изделий - 50–160 мм.

Методика проведения испытания.

Метод проведения испытания для определения пределов огнестойкости базировался на методике, описанной в источниках [28]-[30]. Проведены испытания для определения пределов огнестойкости конструкции по параметрам Е (потеря целостности), R (потеря несущей способности) под действием равномерно распределённой нагрузки 210 кг/м².

При проведении испытания различались следующие предельные состояния конструкции:

- потеря целостности (Е), которая характеризуется появлением устойчивого пламени на необогреваемой поверхности образца длительностью 10 секунд и более; образованием в конструкции образца сквозных отверстий (щелей) с размерами, позволяющими щупу диаметром (6±1) мм проникать и перемещаться вдоль отверстия (щели) на расстояние не менее 150 мм, или щупу диаметром (25±1) мм беспрепятственно проникать в сквозные отверстия;

- потеря несущей способности (R) вследствие обрушения конструкции или возникновения предельных деформаций.

Для изгибаемых конструкций предельное состояние наступило, если:

- прогиб достиг величины L/20 или

- скорость нарастания деформаций достигла L7/(9000h) см/мин,

где L - пролет, см; h- расчетная высота сечения конструкции, см.

Для испытываемого образца геометрические характеристики были следующие: L=215 см, h=46 см; таким образом, предельный прогиб – 10.75 см; предельная скорость нарастания деформаций - 0.11 см/мин.

Образец испытаний:

Элемент конструкции светопрозрачного покрытия атриума, состоящий из:

1. Несущего металлического каркаса с кронштейном;
2. Пароизоляции «Технониколь Паробарьер СФ1000»;
3. Утеплителя «Rockwool лайт баттс»;
4. Рамы-подиума из стеклокомпозита с заполнением пеностеклом «Foamglass T3+» и остеклением стеклопакетом «6LPHPSilver 35/26–20-4зак. 6 STG-5.1»;
5. Гидроизоляции «Resitrix s-kw».

Общие габаритные размеры образца 2150×2150 мм, высота конструкции 460 мм. Чертеж образца представлен на рисунке 1.

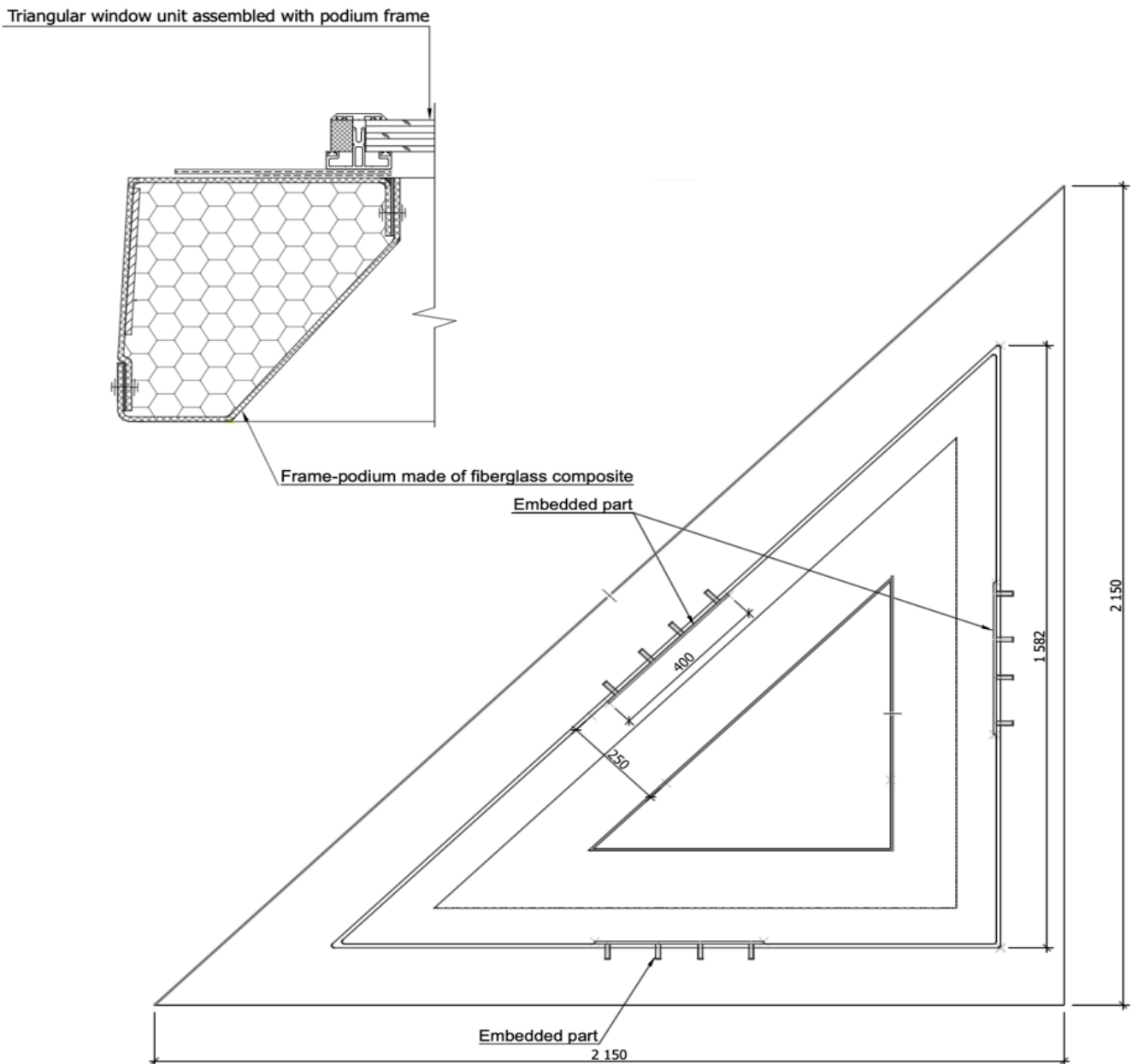


Рис. 1 – Чертеж образца.
Fig. 1 – Sample drawing

До начала испытания образец на 72 часа был размещен в помещении, в котором затем проходило испытание.

Порядок проведения испытания:

1. Обмеры образца;
2. Монтаж образца с нагружением в печь;
3. Включение форсунок печи;
4. Регистрация данных испытаний;
5. Выключение форсунок печи;
6. Демонтаж и обследование образца;
7. Описание результатов.

Монтаж образцов проводился в технологический проём горизонтальной печи. Образец испытывался под действием равномерно распределённой нагрузки 210 кг/м².

Горячие спаи печных термопар устанавливались на удалении 900 мм от стены огневой камеры и на расстоянии 100 мм от обогреваемой поверхности образца.

Начало испытаний соответствовало моменту включения форсунок печи. Температурный режим в печи соответствовал стандартному [29].



Стандартный температурный режим печи, характеризуется следующей зависимостью:

$$T - T_0 = 345 \cdot \lg(8t + 1), \quad (1)$$

где T - температура в печи, соответствующая времени t , °C;

T_0 - температура в печи до начала теплового воздействия (принимается равной температуре окружающей среды), °C;

t - время, исчисляемое от начала испытания, мин.

При необходимости может быть создан другой температурный режим, учитывающий реальные условия пожара.

6.2 Отклонение H средней измеренной температуры в печи T_{cp} от значения T , вычисленного по формуле (1), определяется в процентах, по формуле (2):

$$H = \frac{T_{cp} - T}{T} \cdot 100\%, \quad (2)$$

За среднюю измеренную температуру T_{cp} в печи принимается среднее арифметическое значение показаний печных термопар в момент времени t .

Температуры, соответствующие зависимости (1), а также допускаемые отклонения от них средних измеренных температур, определяемые по формуле (2), приведены в таблице 1.

Таблица 1. Температура печи и допускаемые отклонения.
Table 1. Furnace temperature and tolerances

t , мин	$T - T_0$, градусы С	Допускаемое значение отклонения H , %
5	556	±15
10	659	
15	718	±10
30	821	

В процессе испытаний регистрировались: температура и давление в печи, поведение и прогиб образца.

3 Results and Discussion

Результаты испытания образца представлены в таблице 2.

Таблица 2. Измеренные показатели (результаты испытаний).
Table 2. Measured indicators (test results)

t , мин	T , градусы С	Давление, Па	Прогиб, см (результаты испытаний)
1	14	10.2	0.1
2	361	11.3	0.1
3	452	9.6	0.2
4	549	11.3	0.3
5	561	11.6	0.4
6	596	10.6	0.4
7	624	8.9	0.5
8	647	10.2	0.6
9	651	10.6	0.7
10	663	9.2	0.8
11	672	9.9	0.8
12	689	9.1	0.8
13	709	11.1	0.8
14	718	10.3	0.8
15	725	11.3	0.8

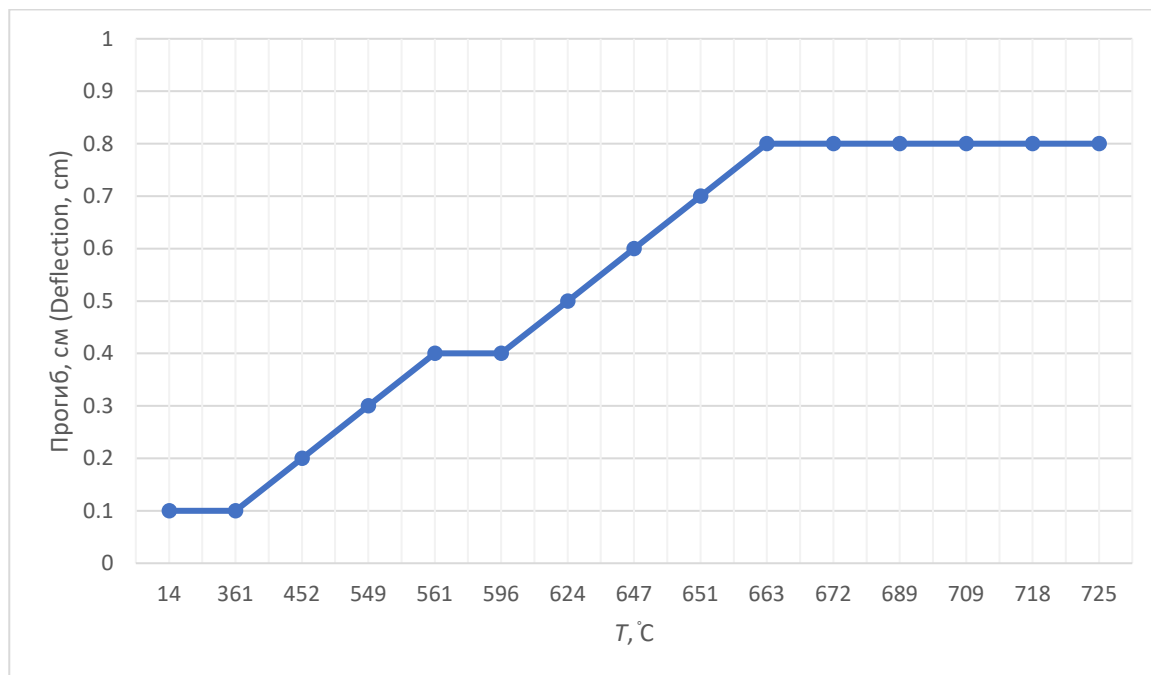


Рисунок 2 – График зависимости прогиба от температуры.
Fig. 2 – Graph of deflection versus temperature

4 Conclusions

В статье проанализированы научные исследования в области применения стеклокомпозитов в светопрозрачных конструкциях.

Проведены экспериментальные исследования огнестойкости элемента светопрозрачного покрытия, содержащего раму-подиум из стеклокомпозита.

Получены следующие результаты:

1. Определен предел огнестойкости стеклокомпозитной рамы-подиума, который составил RE15.
2. Получен график зависимости деформации (прогиба) элемента от температуры.
3. Зависимости изменения деформации (прогиба) от изменения давления не выявлено.
4. Определены перспективные направления исследований рамы-подиума из стеклокомпозита для светопрозрачного покрытия атриума.

Полученные результаты позволили сделать следующие выводы:

Анализ научных исследований показал, что проблема мало изучена и является актуальной.

Экспериментальные исследования огнестойкости подтвердили возможность использования рамы-подиума из стеклокомпозита для светопрозрачного покрытия атриума.

Необходимы дальнейшие исследования теплопроводности и прочности элемента рамы-подиума для обоснования применения элементов конструкций из огнестойких стеклокомпозитов в светопрозрачных покрытиях атриумов.

5 Acknowledgements

Автор выражает особую благодарность ООО «ПСК «Алтес» и ООО «Оконные технологии» за предоставленную информацию.

References

1. Oliwa, R. and Oleksy, M. and Oliwa, J. and Węgień, A. and Krauze, S. and Kowalski, M. (2021). Fire resistant glass fabric-epoxy composites with reduced smoke emission. *Polimery*, **64**(4), 290–293. <https://doi.org/10.14314/polimery.2019.4.7>.
2. Nie, L. and Li, J. and Yan, X. and et al. (2023). The carbon fiber/epoxy composites toughened by fire-resistant glass fiber veils: Flammability and mechanical performance. *Textile Research Journal*, **93**(11-12), 2738-2753. <https://doi.org/10.1177/00405175221147729>.



3. Shazzuan, S.M. and Fathullah, M.M. and Al Bakri, A. and Shayfull, M.M. and Vertic, E.B. (2021). Recent developments in fire retardant glass fibre reinforced epoxy composite and geopolymer as a potential fire-retardant material. *A review, Construction and Building Materials*, **277**, 122-246. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122246>.
4. Laskoski, M. and Shepherd, A. and Mahzabeen, W. and Clarke, J. and Keller, T. and Sorathia, U. (2018). Sustainable, fire-resistant phthalonitrile-based glass fiber composites. *Journal of Polymer Science Part A: Polymer Chemistry*, **56**(11). <https://doi.org/10.1002/pola.28989>.
5. Poliakova, D. and Morozov, O. and Lipatov, Y. and Babkin, A. and Kepman, A. and Avdeev, V. (2022). Fast-Processable Non-Flammable Phthalonitrile-Modified Novolac/Carbon and Glass Fiber Composites. *Polymers*, **14**(22). <https://doi.org/10.3390/polym14224975>.
6. Li, C. and Yu, X. and Tan, Y. and Xie, G. and Liu, H. and Tang, G. (2021). Investigation on thermal properties and flame retardancy of glass-fiber reinforced poly(butylene succinate) composites filled with aluminum hypophosphite and melamine cyanurate. *Journal of Applied Polymer Science*, **139**(10). <https://doi.org/10.1002/app.51739>.
7. Bulgakov, B.A. and Morozov, O.S. and Timoshkin, I.A. and et al. (2021). Bisphthalonitrile-based Thermosets as Heat-resistant Matrices for Fiber Reinforced Plastics. *Polymer Science, Series C*, **63**, 64–101. <https://doi.org/10.1134/S1811238221010021>.
8. Xiao, X. and Hu, S. and Zhai, J. et al. (2016). Thermal properties and combustion behaviors of flame-retarded glass fiber-reinforced polyamide 6 with piperazine pyrophosphate and aluminum hypophosphite. *J Therm Anal Calorim*, **125**, 175–185. <https://doi.org/10.1007/s10973-016-5391-0>.
9. Mouritz, A.P. and Mathys, Z. and Gardiner, C.P. (2004). Thermomechanical modelling the fire properties of fibre-polymer composites. *Composites Part B: Engineering*, **35**, 467-474. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2003.09.005>.
10. Mohammad R. De-Yi Wang, Debes Bhattacharyya. (2017). Combined effects of ammonium polyphosphate and talc on the fire and mechanical properties of epoxy/glass fabric composites. *Composites Part B: Engineering*, **113**(15), 381-390. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2017.01.039>.
11. Kai, Y. and Aravind D. and Hooper, T.J.N. (2023). Structural characterization and fire performance of geopolymer-glass fiber composite panels. *Construction and Building Materials*, **400**(12). <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.132633>.
12. Lalson D.M. and Jaworski C.C. and Mazhar P. and Nisa V.S. and Jyotishkumar P. and Nishar H. (2022). Recent progress and multifunctional applications of fire-retardant epoxy resins. *Materials Today Communications*, **33**. <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2022.104702>.
13. Mouritz, A.P. and Mathys, Z. (2001). Post-fire mechanical properties of glass-reinforced polyester composites. *Composites Science and Technology*, **61**(4), 475-490. [https://doi.org/10.1016/S0266-3538\(00\)00204-9](https://doi.org/10.1016/S0266-3538(00)00204-9).
14. Horrocks, A.R. and Kandola, B.K. (2005). 9 - Flammability and fire resistance of composites. *Woodhead Publishing Series in Textiles, Design and Manufacture of Textile Composites*, Woodhead Publishing, 330-363. <https://doi.org/10.1533/9781845690823.330>.
15. Xiao-Hui, S. and Xue-Lin, L. and Ying-Ming, L. Zhi, L. and De-Yi, W. (2022). Flame-retardant strategy and mechanism of fiber reinforced polymeric composite: A review. *Composites Part B: Engineering*, **233**. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2022.109663>.
16. Rejab, N.A. and Akindoyo, J.O. and Atay, H.Y. and Binoj, J.S. and Mariatti, J. (2023). Flexural and flame retardance properties of multi-walled carbon nanotubes/glass fibre/epoxy hybrid composites. *Construction and Building Materials*, 387. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.131677>.
17. Patel, P.T. and Hull, R. Lyon, R.E. and Stolarov, S.I. and Walters, R.N. and Crowley, S. and Safronava, N. (2011). Investigation of the thermal decomposition and flammability of PEEK and its carbon and glass-fibre composites. *Polymer Degradation and Stability*, **96**(1), 12-22. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2010.11.009>.
18. Mikhaylin, I.U.A. (2011). Teplo-, termo- i ognestoykost' polimernykh materialov. *NOT. Nauchnyye osnovy i tekhnologii*, 415. <https://catalog.belstu.by/catalog/books/doc/40976/info> (date of application: 22.10.2023).
19. Mikhaylin, I.U.A. (2013). Voloknistyye polimernyye kompozitsionnyye materialy v tekhnike. *NOT. Nauchnyye osnovy i tekhnologii*, 715. <https://catalog.belstu.by/catalog/books/doc/56900/info> (date of application: 22.10.2023).

Masenene, A.

Fire-resistant frame-podium for the translucent covering of the atrium;
2023; *AlfaBuild*; **29** Article No 2907. doi: 10.57728/ALF.29.7



20. Mikhaylin, YU.A. (2008). Konstruktsionnyye polimernyye kompozitsionnyye materialy. *NOT. Nauchnyye osnovy i tekhnologii*, 820. <https://catalog.belstu.by/catalog/books/doc/25738/info> (date of application: 22.10.2023).
21. Min'ko, N.I. and Puchka, O.V. and Stepanova, M.N. and Vaysera, S.S. (2016). Teploizolyatsionnyye steklomaterialy. Penosteklo 2-ye izdaniye, ispravlennoye. *Belgorodskiy gosudarstvennyy tekhnologicheskiy universitet im. V.G. Shukhova*, 263. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26806088> (date of application: 22.10.2023).
22. Kablov, V.F. and Keybal, N.A. and Novopol'tseva, O.M. (2016). Ogneplozashchitnyye polimernyye materialy s funktsional'no-aktivnymi komponentami. *Volgogradskiy gosudarstvennyy tekhnicheskiy universitet, Volzhskiy politekhnicheskiy institut (filial)*, 1, 208. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30027260> (date of application: 22.10.2023).
23. Klyukina, Ye.V. (2018). Kompozitsionnyye materialy v stroitel'stve. Problemy i perspektivy razvitiya stroitel'stva, teplogazosnabzheniya i energoobespecheniya. *Materialy VIII Natsional'noy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem, Saratov, 15–16 noyabrya 2018 goda Saratovskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet im. N.I. Vavilova*, 177-179. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36930669> (date of application: 22.10.2023).
24. Yevtushenko, YU.M. and Grigor'yev, YU.A. (2021). Povysheniye ognestoykosti kompozitsionnykh materialov. Aktual'nyye problemy pozharной bezopasnosti. *Materialy XXXIII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy Godu nauki i tekhnologii, Moskva, 12–16 maya 2021 goda. FGBU VNIPO MCHS Rossii*, 546-553. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46142049> (date of application: 22.10.2023).
25. Zhuginisov, M.T. and Omarbek, A. (2022). Analiticheskiy obzor issledovaniy po tekhnologii penostekla. *Molodoy uchenyy*, 48(443), 51-56. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49909756> (date of application: 22.10.2023).
26. http://o-p-i.ru/images/PDF/Opisanie_FG/Opisanie_T3_PL.pdf (date of application: 23.10.2023).
27. Bondaletova, L.I. Bondaletov, V.G. (2013). Polimernyye kompozitsionnyye materialy (chast' 1): uchebnoye posobiye. *Tomskiy politekhnicheskiy universitet*, 118. https://portal.tpu.ru/SHARED/b/BONDLI/stud_work/p_k_m_m/Tab1/Posobie_PCM.pdf (date of application: 23.10.2023).
28. GOST R 53308-2009 «Building structures. Fire-resistance tests methods». <https://meganorm.ru/Data2/1/4293775/4293775394.pdf> (date of application: 23.10.2023).
29. GOST 30247.0-94 «Elements of building constructions. Fire-resistance test methods. General requirements». <https://files.stroyinf.ru/Data/95/9594.pdf> (date of application: 23.10.2023).
30. GOST 30247.1-94 «Elements of building constructions. Fire-resistance test methods. Loadbearing and separating constructions». <https://files.stroyinf.ru/Data/278/27885.pdf> (date of application: 23.10.2023).