

УДК 614.841.3

С. Н. Холодова, В. А. Курочкина

СТРОИТЕЛЬНАЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЭКСПЕРТИЗА ОГНЕСТОЙКОСТИ СЭНДВИЧ-ПАНЕЛЕЙ¹

Аннотация. В данной статье приведены результаты экспериментального сравнительного анализа поведения огнестойкости двух сэндвич-панелей со структурной функцией, состоящих из наполнителя из пенополиизоцианурата (PIR) и стеклоткани размерами 3150 мм×2800 мм×150 мм. Первая панельная система, подвергшаяся воздействию огня, была покрыта гипсовыми пластинами, а другая – керамическими пластинами. Параметрами, подлежащими сравнению для обеих систем, были структурная стабильность, герметичность и теплоизоляция. Для этого было проведено испытание на огнестойкость с оценкой поведения каждого из образцов, подвергшихся воздействию огня, для сравнения между собой. Согласно результатам, полученным в данном исследовании, материалы, используемые для формирования структуры сэндвич-панелей, и материал покрытия влияют на результаты параметров и огнестойкость. Таким образом, в данном исследовании система с гипсокартонным покрытием показала лучшие характеристики по отношению к оцениваемым параметрам.

Ключевые слова: сэндвич-панели, огнестойкость, стекловолокно, гипсовая плита, керамическая плита.

Для цитирования: Холодова, С. Н. Сравнительная экспериментальная экспертиза огнестойкости сэндвич-панелей / С. Н. Холодова, В. А. Курочкина // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2024. – № 2. – С. 123–131.

Введение. Пожар может начаться и распространиться по строительным и отделочным материалам, из которых состоят внутренние поверхности здания, а также по элементам интерьера, присутствующим в здании. Противопожарная защита в зданиях имеет жизненно важное значение, так как напрямую влияет на безопасность людей и срок службы конструкций. Поэтому конструкции из сэндвич-панелей были созданы для смягчения этой проблемы путем комбинирования различных материалов, которые могут выступать в качестве антипиренов.

Сэндвич-панели представляют собой высокоэффективные сборные системы облицовки стен и крыши с превосходными изоляционными характеристиками, которые обычно используются для промышленных зданий и складов. Эти системы состоят из двух граней, образованных тонкими высокопрочными листами, скрепленными толстым легким сердечником. Каждый компонент сам по себе относительно слаб и гибок, но в сочетании они создают жесткую, прочную и легкую структуру. Наиболее распространенными материалами для поверхностей сэндвич-панелей являются алюминий, сталь, стекловолокно, дерево-бумага, дерево, углерод и синтетические ткани. В этом смысле сэндвич-панель имеет преимущество перед другими панелями, так как в ее сердцевину включена тепло- и звукоизоляция, что позволяет избежать необходимости добавления рам и задних панелей, которые представляют собой больше поддерживающего и облицовочного материала, увеличивая бюджет и уменьшая полезное свободное пространство.

¹ Статья рекомендована к публикации оргкомитетом по результатам 7-й Всероссийской научно-практической конференции «Теория и практика безопасности жизнедеятельности».

Кроме того, использование сэндвич-панелей в качестве стабилизирующих элементов может способствовать значительной экономии стали для элементов конструкции при комнатной температуре, что приводит к снижению затрат и воздействует на окружающую среду в меньших количествах.

Важно знать, что облицовка сэндвич-панелей, как правило, изготавливается из стали. Для сердцевин могут использоваться различные материалы, такие как полиуретан, полиизоцианурат, пенополистирол, экструдированный полистирол и минеральная вата. С термодинамической точки зрения считается, что материалы из полиизоцианурата превосходят полиуретан, поскольку они более термически стабильны по сравнению с уретановыми связями, содержащимися в пенополиуретане. Кроме того, жесткая пена полиизоцианурата стабильна и долговечна, обеспечивает оптимальную изоляцию и срок службы более 50 лет.

Еще одним материалом, используемым в основе сэндвич-панелей и обладающим огнестойкими свойствами, является гипс, который является одним из древнейших строительных материалов в мире. Основой огнестойкости, характерной для гипса, является низкая теплопроводность и высокоэндотермический процесс обезвоживания этого материала, что означает, что при воздействии гипса на высокотемпературную среду молекулы воды, прикрепленные к его кристаллической сетке, высвобождаются и переносятся через его массу, что позволяет повысить огнестойкость глобальной структуры и замедлить повышение температуры.

Керамическая пластина является еще одним материалом, обладающим хорошими огнестойкостью, но использование керамических материалов ограничено их низкой прочностью, так как они легко фрагментируются при импульсных нагрузках. Тем не менее, стекловолокно является еще одним материалом, широко используемым в сердцевине панелей благодаря своим механическим свойствам, которые увеличили его использование в последние 15 лет.

Стеклопластик по сравнению с традиционными материалами обладает благоприятными физико-механическими свойствами, такими как высокая удельная прочность на растяжение и сжатие, контролируемая электропроводность, низкий термический коэффициент, хорошая усталостная прочность и высокая прочность при повышенных температурах. Стеклопластиковые/эпоксидные ламинаты в основном состоят из слоев волокна (стекла и углерода), соединенных эпоксидной смолой, чтобы придать полученным панелям улучшенную гибкость конструкции, механические свойства, хорошее химическое поведение и электрическую стойкость.

До недавнего времени не существовало систем структурного моделирования ламинатов и сэндвич-композитов при пожаре для анализа структурной целостности панелей. И наоборот, традиционный подход к оценке структурного поведения заключался в тестировании сэндвич-компонентов. Тем не менее, модели позволяют быстро и недорого оценить огневые характеристики и живучесть существующих и новых вариантов конструкций композитных конструкций. Они также снижают потребность в испытаниях конструкций на огнестойкость, а также улучшают наше понимание поведения при огне и при разработке новых материалов с улучшенной огнестойкостью конструкций.

Наконец, преимущества и области применения огнестойких сэндвич-панелей в литературе очень мало исследований их огнестойкости в полном масштабе или в реальных условиях. Таким образом, основная цель данного исследования заключалась в том, чтобы оценить и сравнить характеристики огнестойкости двух сэндвич-панелей с пенопластовым сердечником из полиизоцианурата, армированных стеклотканью с двумя различными облицовочными материалами (гипсокартонными и керамическими плитами), чтобы экспериментально продемонстрировать, какая из них имеет лучшие тепловые характеристики.

Эксперимент. Огнестойкость двух конструктивных панелей с сердечником из полиизоцианурата с двумя поверхностями из ламината, состоящего из ткани, армированной стекловолокном, оценивалась в соответствии со стандартом ГОСТ 30247.0-94. Целью этого

испытания, проведенного для обеих систем, было определение безопасности и предела огнестойкости (EI) конструкционных панелей, анализ следующих параметров: теплоизоляция, герметичность и стабильность конструкции.

В этом исследовании были протестированы и сравнены две сэндвич-панели с сердечником из полиизоцианурата со структурой, состоящей из ткани, армированной стекловолокном, одна из которых была покрыта гипсовой пластиной, а другая - керамической пластиной, обе с внешней стороны. Обе конструкции имели габариты 3150×2800×150 мм.

Первая конструкция вертикального уплотнения (образец 1) состояла из сердечника из полиизоцианурата (ПИР) толщиной 95 мм, самозатухающего типа, плотностью 35 кг/м³, и покрытой с обеих сторон композитными листами, ламинированными стеклотканью толщиной 1,7 мм с плотностью 521 г/м² двухосного типа и термореактивной акриловой смолы с минеральной загрузкой ее рецептуры. С лицевой стороны, подверженной воздействию огня, панель была покрыта устойчивыми к огню листами гипсокартона, закреплена шурупами, а стыки обработаны штукатурно-клеевой смесью.

Вторая конструкция вертикального уплотнения (образец 2) имела те же характеристики, что и образец 1, за исключением того, что с лицевой стороны, подверженной воздействию огня, панель была покрыта керамическими пластинами, покрытыми клеевым раствором и затиркой для обработки стыков между пластинами.

Составы обеих сэндвич-панелей проиллюстрированы на рис 1. Стоит отметить, что для этой экспериментальной программы были проанализированы только две панели из-за экономических ограничений, учитывая высокие затраты на строительство этих систем и проведение такого рода крупномасштабных испытаний.

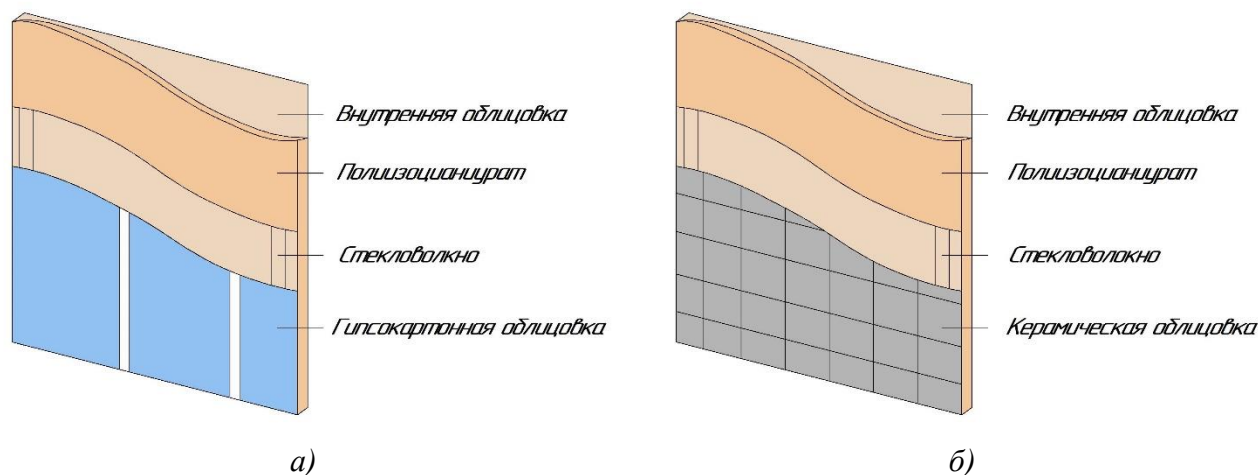


Рис. 1. Схема состава сэндвич-панелей: а) образца 1 б) образца 2.

Методология исследования. Лабораторный метод испытаний, использованный для этих конструкционных сэндвич-панелей, соответствовал требованиям ГОСТ 30247.0-94. Целью данного испытания является определение пределов огнестойкости образцов при воздействии программы нагрева, описанной в стандарте. В ходе испытаний проверялись теплоизоляция, герметичность и структурная стабильность систем.

Оба испытания проводились в стандартизированной и откалиброванной вертикальной печи в ФГБУ СЭУ ФПС ИПЛ по Ростовской области. Печь нагревалась четырьмя горелками на сжиженном нефтяном газе и управлялась дифференциальным давлением. Две горелки были установлены на боковых стенках печи, а затем откалиброваны для повышения температуры в соответствии со стандартной кривой «температура-время».

Образцы испытывались независимо и непрерывно под постоянным контролем 5 термопар диаметром 1,5 мм на поверхности, подверженной воздействию огня, и еще 5 термопар

диаметром 0,7 мм на поверхности, не подверженной воздействию огня. Расположение и нумерация внутренних термопар (поверхность, подверженная воздействию высоких температур) показаны на рис. 2, а, а внешних термопар (граней, не подверженных воздействию высоких температур) – на рис. 2, б. Места расположения термопар от 6 до 10 (внешние) совпадают с положениями термопар от 1 до 5 (внутренние) и соответствуют норме. Во время испытаний температура регистрировалась каждые 30 с и с точностью до 1,5 %.

В рамках параметров, проанализированных в данном исследовании, несущая способность определяется как способность нагружающего элемента выдерживать испытательную нагрузку без превышения установленных критериев деформации, и для данного исследования, являющегося конструкционными панелями, приложенная нагрузка для обоих образцов составила 0,50 тс/м

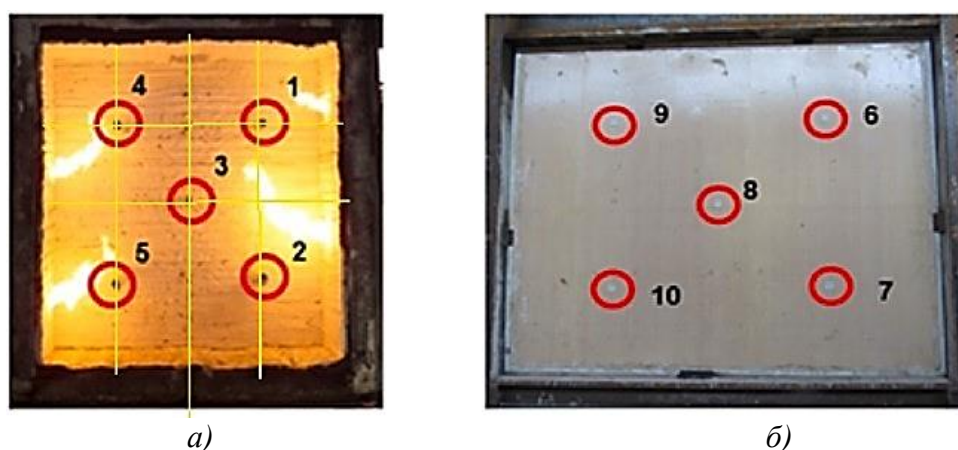


Рис. 2. Нумерация и расположение термопар

а – внутри печи; б – снаружи забоя, не подверженного воздействию огня

Результаты. Время воздействия огня для обоих испытуемых образцов было разным, поэтому конечная температура внутри печи также была разной. В таком порядке продолжительность огневого испытания для первого образца составила 32 минуты, а для второго – 25 минут. Таким образом, температура экспозиции (конечная внутренняя температура) для образцов 1 и 2 составила 1052 °С и 986 °С соответственно.

Во время процедуры для образца 1 появление пузырьков в верхней центральной части образца наблюдалось через 15 мин. Между 16-й и 24-й минутами внутри печи образовалось потрескивание, и в образце наблюдался выброс черного дыма. Наконец, на 28-й и 32-й минутах образец достиг точки концентрированного нагрева, после чего было проведено испытание на герметичность, в ходе которого было выявлено воспаление ватного диска, влияющее на поведение структурной панели.

При испытании образца 2 в первые минуты наблюдалось потрескивание внутри печи, небольшой выход дыма через левый верхний и правый центр образца. Между 12-й и 14-й минутами ощущалось смещение керамического покрытия и, в свою очередь, наблюдалось выделение темного дыма в верхнем левом и правом углах образца. Наконец, между 20 и 25 минутами образец показал сильные деформации, что привело к проведению испытания на утечку; генерация воспаления ватного диска, что значительно обусловило потерю герметичности в системе.

В табл. 1 представлены основные моменты, зафиксированные при испытаниях, проведенных для обоих образцов. Следует отметить, что поведение обоих образцов после запуска термической программы (нагружения и нагрева), показало трещины в забое, непосредственно подверженном воздействию высоких температур (внутри печи). Следует уточнить, что из двух образцов только образец, покрытый гипсовой пластиной (образец 1),

показал образование пузырей в верхней центральной части на лицевой стороне, не подверженной воздействию огня.

Таблица 1

**Перечень основных наблюдений,
представленных в течение испытания образцов**

Время, мин	Образец 1	Образец 2
0	- Начало предварительной загрузки - Запуск тепловой программы - Появление пузырьков в верхней центральной части простого	- Начало предварительной загрузки - Окончание загрузки - Запуск тепловой программы
2	-	- Потрескивание внутри печи
3	-	- Выход дыма из верхнего левого центра образца
8	-	- Выход дыма из верхнего правого центра образца - Потрескивание было обнаружено внутри печи
12	-	- Было обнаружено смещение керамического покрытия
13	-	- Из левого верхнего угла образца выходит темный дым
14	-	- Выделение темного дыма в правом верхнем углу образца
15	- Окончание загрузки	-
16	- Внутри печи слышен треск	-
20	-	- Сильная деформация материалов
24	- Выделение черного дыма	- Испытание на герметичность
25	-	- Испытание на герметичность
28	- Максимальная точка нагрева	- Окончание испытания
32	- Испытание на герметичность - Окончание испытания	

Несущая способность. Важно отметить, что для обоих образцов не удалось повторно приложить ожидаемую нагрузку через 24 ч после завершения испытания для проверки свойств механической прочности из-за недостаточной стабильности систем. На рис. 3 показано горизонтальное смещение образцов каждые 5 мин на протяжении всех испытаний.

Согласно этому рисунку, максимальное смещение, достигнутое для образца 1 в направлении печи (внутри), составляло 24 мм через 30 мин после начала испытания. Однако для образца 2 через 20 мин было достигнуто максимальное смещение порядка 14 мм в противоположном направлении печи (снаружи).

Кроме того, стоит отметить, что, в отличие от образца 1, в образце 2 наблюдались смещения сначала в печи, а затем наружу, что, вероятно, связано с неравномерным нагревом образца в центральной части панели, как видно на рис. 7, где показана интенсивность цвета (благодаря записям тепловизора) в области, где находилась термопара № 8 (в центральной части панели), что соответствует повышению температуры, показанному на рис. 6.

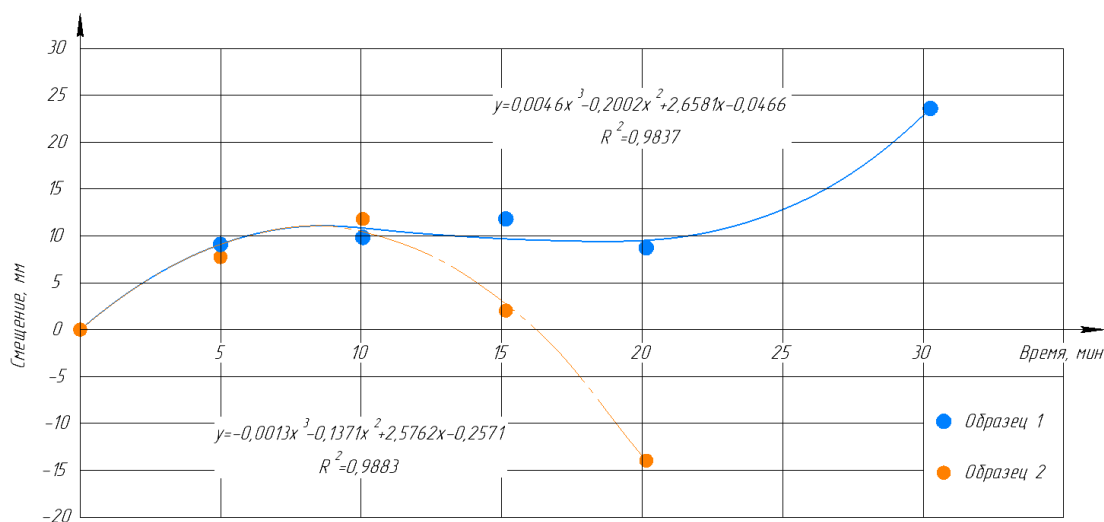


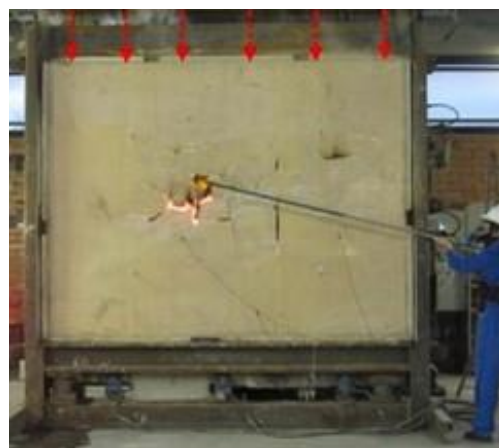
Рис. 3. Диаграммы смещения для образцов 1 и 2.

При всем вышеперечисленном, образец 1 достиг предел огнестойкости (EI) 30 мин, в то время как образец 2 достиг предел огнестойкости (EI) 20 мин; При этом с учетом того, что если система не выдерживает приложенной нагрузки или не может быть приложена повторно, стандарт устанавливает, что временем огнестойкости образца считается 80% времени, в течение которого он соответствовал требованиям во время тепловой нагрузки.

В случае образца 1 во время испытания на огнестойкость было проведено одно испытание на герметичность, и на 32-й минуте испытания было подтверждено воспламенение материала, что привело к отказу системы по параметру герметичности. В отличие от образца 1, для образца 2 в течение всего периода испытания на огнестойкость были проведены два испытания на герметичность, в результате которых воспламенение материала достигалось всего через 25 минут, в рамках второго шанса (рис. 4).



а)



б)

Рис. 4. Испытание на герметичность
а) образец 1; б) образец 2

Теплоизоляция. На рис. 5 показаны значения температуры наружной поверхности образца 1 (границы, не подверженной непосредственному воздействию огня), полученные при испытании на огнестойкость.

Следует подчеркнуть, что изотермы, показанные на рисунке 5, демонстрируют убывающее поведение внешних термпар образца 1 в течение первых 17 минут огневого испытания, что является нетипичным явлением для данного типа испытаний, так как материал

внутри печи подвергается воздействию огня, в то же время ожидается повышение его внешней температуры. Возможное оправдание этого события заключается в том, что составляющие материалы этой системы, вероятно, обладают огнестойкими характеристиками или свойствами, которые заставляют ее работать в качестве теплоизолятора, и в ответ на такое воздействие высоких температур она может блокировать проход сухого воздуха и изолировать его в замкнутой структуре.

Исходя из вышеизложенного, очевидно, что средние измерения температуры и точки термопар увеличиваются при испытании на огнестойкость и в результате повышения температуры для этих случаев были превышены пределы, установленные нормативными документами. Тем не менее, средние температурные точки и пределы не были достигнуты в течение 32 минут; Таким образом, в конструкции, покрытой гипсовой плитой, не произошло потери теплоизоляции (пример 1)

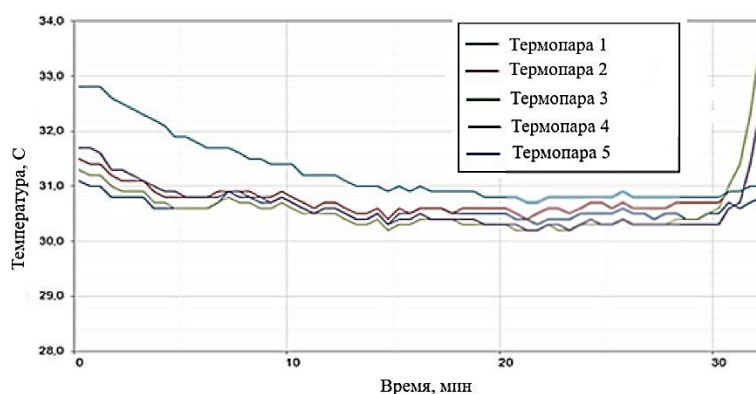


Рис 5. Значения температуры от внешних термопар для образца 1

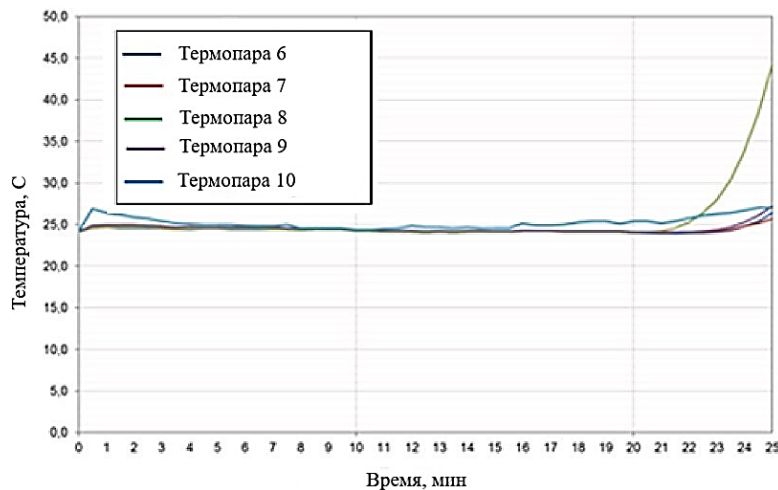


Рис 6. Значения температуры от внешних термопар для образца 2

На рис. 6 приведены значения температуры наружной поверхности (границы, не подверженной непосредственному воздействию огня) из образца 2.

Для второй системы (образец 2) средняя температура окружающей среды в начале огневого испытания составила 22,6 °C, средний температурный предел термопар – 162,6 °C и температурный предел каждой термопары – 202,6 °C. Следует отметить, что температурные пределы не были превышены во время огневого испытания, которое длилось 25 мин. Поэтому систему можно рассматривать как теплоизолятор.

Как видно на рис. 6, для образца 2 наблюдалось постоянное повышение наружной температуры до 21-й минуты, что может быть связано с внутренним материалом футеровки (керамикой). До тех пор, пока в этот период температура не вызвала обезвоживание раствора,

а затем и отслоение керамики. Только после этого события активная зона ПИР была эффективно подвержена воздействию огня.

Кроме того, на рис. 7 показаны наиболее горячие участки, представленные более светлыми цветами, в то время как фиолетовым цветом обозначена самая холодная область для обоих образцов в соответствии с термографическими записями камеры в разное время в течение срока огневых испытаний.

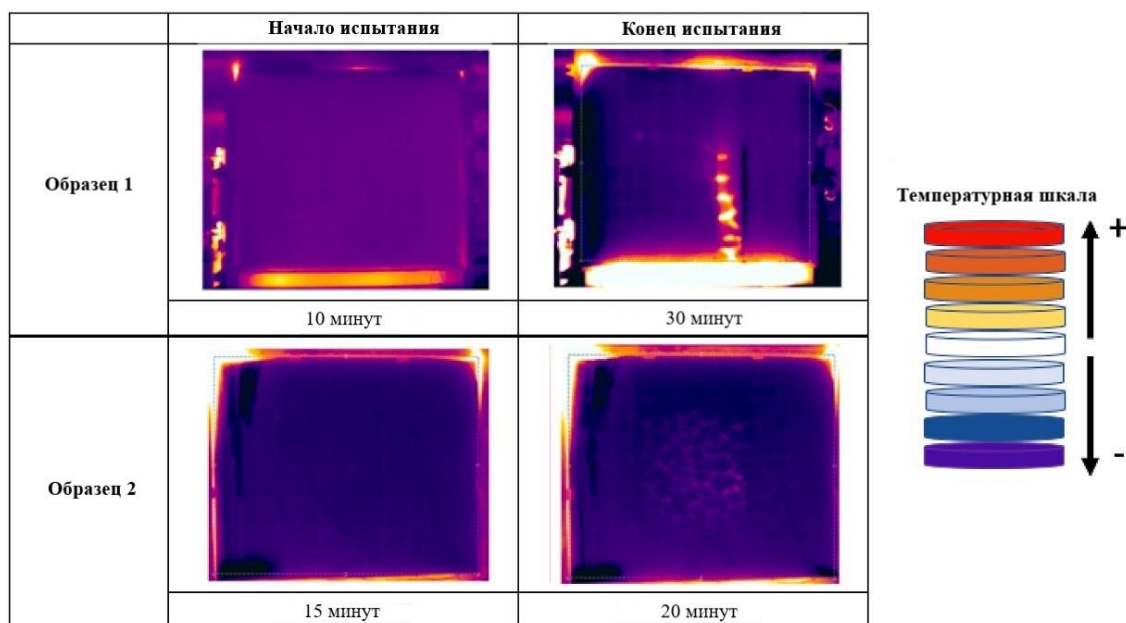


Рис 7. Определение горячих участков исследуемых образцов, зафиксированы телевизионной камерой

Выводы. Огнестойкость двух сэндвич-панелей с наполнителем из пенополиизоцианурата, состоящих из ткани, армированной стекловолокном (одна из которых покрыта гипсовой плитой, а другая – керамической плитой на огнеопасных сторонах), размерами 3150×2800×150 мм оценивались в соответствии со стандартом ГОСТ 30247.0-94. Их сравнивали друг с другом, чтобы проанализировать, какая система имеет большую устойчивость и лучшую устойчивость к огню в соответствии со стандартом, учитывая различные материалы, которыми они были покрыты на внешней стороне.

Между этими двумя протестированными конструкциями можно сделать следующие выводы:

1 Система с гипсокартонным покрытием была отнесена к категории противопожарных перегородок (EI30), обладающих лучшими показателями по параметрам механической прочности, герметичности и теплоизоляции.

2 Система с керамическим покрытием была классифицирована как противопожарная перегородка (EI20), однако не показала хороших показателей герметичности и механической прочности из-за наличия в образце отверстий или трещин, которые позволяли проходить огню, и поэтому структура демонстрирует нестабильное поведение.

3 Из вышеизложенного можно сделать вывод, что конструкции из сэндвич-панелей с гипсовой плитой в качестве покрытия демонстрируют лучшие противопожарные характеристики по сравнению с системами, покрытыми керамической плитой.

Несмотря на положительные результаты, полученные в ходе данного исследования, желательно более тщательно оценить и проанализировать этот тип сэндвич-панелей с одинаковой структурой, чтобы лучше понять их поведение перед воздействием огня, особенно

с учетом других химических веществ, минералогических аспектов, возможных рисков для человека, а также увеличение общего количества образцов, подлежащих испытанию.

S. N. Kholodova, V. A. Kurochkina

CONSTRUCTION EXPERIMENTAL EXAMINATION OF THE FIRE RESISTANCE OF SANDWICH PANELS

Annotation. This article presents the results of an experimental comparative analysis of the fire resistance behavior of two sandwich panels with a structural function consisting of a filler made of polyisocyanurate foam (PIR) and fiberglass with dimensions of 3150 mm×2800 mm×150 mm. The first panel system exposed to fire was covered with gypsum plates, and the other with ceramic plates. The parameters to be compared for both systems were structural stability, tightness and thermal insulation. To do this, a fire resistance test was conducted with an assessment of the behavior of each of the samples exposed to fire, for comparison with each other. According to the results obtained in this study, the materials used to form the structure of sandwich panels and the coating material affect the results of the parameters and fire resistance. Thus, in this study, the drywall system showed the best characteristics in relation to the estimated parameters and for a longer fire resistance time than the ceramic system, checking the thermal insulation and flame-retardant properties of the plaster.

Keywords: sandwich panels, fire resistance, fiberglass, gypsum board, ceramic plate.

For citation: Kholodova, S. N. Construction experimental examination of the fire resistance of sandwich panels / S. N. Kholodova, V. A. Kurochkina // Trudy Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putej soobshcheniya. – 2024. – № 2. – P. 123–131.

Сведения об авторах

Холодова Светлана Николаевна

Донской государственный технический университет (ДГТУ),
кафедра «Безопасность жизнедеятельности
и защита окружающей среды»,
кандидат технических наук, доцент,
e-mail: holls9@mail.ru

Курочкина Виктория Александровна

Донской государственный технический университет (ДГТУ),
кафедра «Безопасность жизнедеятельности
и защита окружающей среды»,
магистрант,
e-mail: kurochkina.vichka@gmail.com

Information about the authors

Kholodova Svetlana Nikolaevna

Don State Technical University,
Department of "Life Safety and Environmental
Protection"
Candidate of Technical Sciences, Associate
Professor,
e-mail: holls9@mail.ru

Kurochkina Victoria Alexandrovna

Don State Technical University, Department of
«Life Safety and Environmental Protection»,
Undergraduate student
e-mail: kurochkina.vichka@gmail.com