

УДК 614.841

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРЕДЕЛА ОГНЕСТОЙКОСТИ МНОГОСЛОЙНЫХ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАГНЕЗИТОВЫХ ПЛИТ

Василенко А.А., Рак Т.Е.

Львовский государственный университет безопасности жизнедеятельности МЧС Украины,  
г. Львов, Украина

e-mail: vndr1@ubgd.lviv.ua

*Дан анализ применения многослойных ограждающих конструкций типа «сэндвич-панель» с наполнителем из пенополистирола в строительстве. Обоснован способ повышения предела огнестойкости таких стеновых конструкций. Описаны испытания магnezитовых плит на горючесть, воспламеняемость, способность распространять пламя и на дымообразующую способность. Обоснована возможность применения магnezитовых плит в ограждающих строительных конструкциях типа «сэндвич-панель» для огнезащиты пенополистирола, выполняющего роль теплоизолирующего слоя. Рассмотрены конструкции предложенных фрагментов сэндвич-панелей с наполнителем из пенополистирола. Описаны эксперименты по определению предела огнестойкости опытных образцов, где в качестве огнезащиты пенополистирола применяются магnezитовые плиты. Обоснована область применения ограждающих конструкций такого типа в строительстве с учетом их предела огнестойкости.*

*An analysis of application in building sandwich panels filled with expanded polystyrene has been done. The ways to improve fire resistance of such structures was justified. The test on combustibility, flammability, flame spread ability and smoke-forming ability of magnesite slabs has been described. The use of magnesite slabs in sandwich panels for the fire protection of expanded polystyrene, where it takes effect like an insulating layer, has been proved up. The design of the proposed prototypes of sandwich panels with expanded polystyrene filler has been considered. Experimental studies of the fire resistance of proposed samples have been described. The results of experimental studies have been presented and the area of possible application of that walling type according to their fire resistance grade has been proved.*

(Поступила в редакцию 24 июня 2013 г.)

### ВВЕДЕНИЕ

Строительство является одной из приоритетных отраслей производства в Украине и многих развитых странах мира. В силу накопления опыта возведения зданий и сооружений развиваются технологии, помогающие строить быстро и выгодно с экономической точки зрения.

Одной из таких технологий является строительство зданий каркасного типа с применением многослойных ограждающих стеновых конструкций. Для изготовления таких конструкций широко применяют пенополистирол и минеральную вату, поскольку они имеют хорошие тепло- и звукоизоляционные свойства, не требуют значительных затрат человеческих ресурсов и оборудования при монтаже и более дешевые по сравнению с природными строительными материалами.

Как правило, для возведения различного типа общественных зданий применяют сэндвич-панели с пенополистиролом, что обусловлено их сравнительно низкой стоимостью. Однако одним из главных недостатков таких стеновых ограждающих конструкций является низкая огнестойкость, что характеризуется быстрым выгоранием пенополистирола при пожаре. Сопrotивление пенополистирола действию высокой температуры пожара повышают путем добавления в его состав примесей, обеспечивающих самозатухание при

воспламенении (пенополистирол марки ПСБ-С). Из практического опыта известно, что это неэффективно и конструкция в условиях пожара в течение 3-5 мин. теряет свою теплоизолирующую способность [1].

Учитывая проблему огнестойкости сэндвич-панелей с применением пенополистирола в качестве утеплителя, актуальными являются вопросы обеспечения регламентированного предела огнестойкости таких ограждающих конструкций.

В связи с этим мы предлагаем новое конструктивное решение для сэндвич-панелей с пенополистирольным наполнителем, то есть дополнительный слой из магнезитовых плит для огнезащиты пенополистирола.

*Целью* работы является обоснование области применения ограждающих конструкций типа «сэндвич-панель» с наполнителем из пенополистирола и огнезащитным слоем из магнезитовых плит на основе результатов экспериментальных исследований их предела огнестойкости.

Известно, что область применения строительных материалов зависит не только от предела огнестойкости. Важную роль в обосновании их применения играют показатели пожарной опасности [2].

В сэндвич-панелях нового конструктивного исполнения в качестве огнезащитного материала применялись магнезитовые плиты. Этот материал на отечественном рынке появился недавно, однако область его применения в строительстве постоянно расширяется. Он характеризуется хорошими физико-механическими свойствами, в частности он крепкий, звукоизоляционный, легко поддается обработке.

На базе лаборатории ЛГУ БЖД в 2012 году был проведен комплекс исследований по определению показателей пожарной опасности магнезитовых плит, что стало предпосылкой их применения в ограждающих конструкциях типа «сэндвич-панель», поскольку материал должен быть негорючим, не распространять пламя по поверхности, иметь низкую дымообразующую способность и низкую воспламеняемость [2].

Исследования горючести магнезитовых плит также проводились Украинским научно-исследовательским институтом пожарной безопасности МЧС Украины в 2007 и 2012 годах [3,4]. Результаты этих исследований свидетельствуют о том, что магнезитовые плиты являются негорючими.

### **Показатели пожарной опасности магнезитовых плит**

*Определение группы горючести методом I.* Испытания на определение группы горючести материала проводились по методике [5]. Для этого было изготовлено 5 опытных образцов диаметром  $45 \pm 2$  мм и высотой  $50 \pm 3$  мм. Все образцы были подвергнуты кондиционированию при температуре воздуха  $60 \pm 2^\circ\text{C}$  в течение суток и взвешены.

Строительные материалы относят к негорючим при следующих значениях параметров горючести:

- прирост температуры в печи – более  $50^\circ\text{C}$ ;
- потеря массы образца – не более 50 %;
- продолжительность устойчивого пламенного горения – не более 10 с.

Испытания проводились в цилиндрической печи [5] при температуре  $750 \pm 5^\circ\text{C}$ . На образец были установлены две термопары, одна из которых находилась в геометрическом центре образца, а другая – на поверхности. Данные с термопар считывались через преобразователь РТ 0102-8-К и передавались на персональный компьютер, погрешность при измерении составляла  $\pm 2^\circ\text{C}$ . При проведении испытаний видимое возгорание не происходило. Признаков выделения дыма и видимых продуктов сгорания не было обнаружено.

Среднее значение перепада температур в печи во время испытаний составило  $1,4^\circ\text{C}$ , температура поверхности образца –  $4,4^\circ\text{C}$ , внутри образца –  $144^\circ\text{C}$ . После проведения

окончательного взвешивания образцов, было установлено, что среднее значение потери массы составляет 36,9 %.

*Определение группы горючести методом II.* Для подтверждения результатов испытания по вышеописанной методике, были проведены испытания образцов магнезитовых плит в огневой камере, предназначенной для определения группы горючести строительных материалов [5]. Камера состоит из металлического короба, системы подачи пропан-бутановой смеси, комплекта измерительных приборов, системы вентиляции.

Для проведения испытания было изготовлено 12 образцов длиной 1 000 мм и шириной 190 мм.

Во время испытаний, с помощью термопар и преобразователя значения температуры дымовых газов записывались на персональный компьютер, погрешность измерений составляла  $\pm 2$  °С. Максимальное значение температуры дымовых газов составляло 95°С, что не превышает максимально допустимого значения для группы горючести Г1 – 135°С.

По завершению испытаний установлено, что опытные образцы не поддерживали горения и не получили повреждений от воздействия пламени. При повторном взвешивании была зафиксирована допустимая потеря массы каждого из образцов, которая составляла не более 20 % [5].

По результатам проведенных двумя методами испытаний на горючесть, можно сделать вывод, что магнезитовые плиты являются негорючими.

*Определение группы воспламеняемости магнезитовых плит.* Следующим этапом исследований стало испытание магнезитовых плит на воспламеняемость. Испытания проводились по методике, описанной в [6]. Согласно этой методике перед началом испытаний было изготовлено 15 опытных образцов квадратной формы со стороной 165 мм толщиной 10 мм. До испытаний все опытные образцы были подвергнуты кондиционированию в течение суток при температуре  $22 \pm 2$  °С.

При испытаниях опытные образцы подвергались воздействию теплового потока величиной от 15 до 50 кВт/м<sup>2</sup> и воздействию пламенем газовой горелки на специальной установке для определения группы воспламеняемости [6]. Общее время испытаний составило 45 мин.

По окончании испытаний возгорания магнезитовых плит не происходило. На поверхности остались следы от воздействия пламени в центре образца и потемнение по всей поверхности вследствие воздействия теплового потока.

Результаты испытаний свидетельствуют о том, что магнезитовые плиты следует отнести к группе воспламеняемости В1 (трудновоспламеняемые), согласно классификации, установленной в [6].

*Определение группы распространения пламени.* Определение группы распространения пламени проводилось по методике, утвержденной [7]. Для проведения испытаний было изготовлено 5 образцов магнезитовых плит размером 1 100 × 250 мм. Согласно методике [7], образцы подвергались обязательному кондиционированию при температуре  $20 \pm 2$  °С и относительной влажности  $65 \pm 5$  % около 72 часов.

Испытания проводились в специальной камере с установленной радиационной панелью для создания необходимой плотности теплового потока [7]. После достижения определенного режима в камере в нее помещался опытный образец. После выдержки в течение 2 мин. к краю образца подводился факел горелки, который воздействовал на образец в течение 10 мин.

За все время испытания каждого из образцов возгорания на их поверхности не происходило. Согласно методике [7], при отсутствии возгорания образца испытания прекращалось.

После охлаждения камеры образцы были демонтированы. По результатам визуального осмотра установлено отсутствие обугливания и прогаров опытных образцов. В

месте воздействия пламени горелки имеются следы воздействия пламени пропан-бутановой смеси.

По результатам испытаний магнезитовых плит на распространение пламени, можно сделать вывод, что магнезитовые плиты не распространяют пламени по поверхности и относятся к группе РП1 (не распространяющие пламя по поверхности), согласно принятой классификации [7].

*Определение группы по дымообразующей способности.* Завершающим этапом испытаний магнезитовых плит на показатели пожарной опасности, было испытание на дымообразующую способность. Согласно методике экспериментального определения коэффициента дымообразования твердых веществ и материалов [8], для их проведения было изготовлено 10 образцов с размером 40×40 мм и поддано кондиционированию при относительной влажности 50 %, температуре  $22 \pm 2$  °С в течение 48 часов.

Опытный образец при каждом испытании монтировался на асбестовую плиту с контейнером и помещался в опытную камеру [8].

Испытания образцов магнезитовых плит проводилось в двух режимах: режиме тления (без иницирующего горения) и режиме горения (с иницирующим горением). В режиме тления на каждый из пяти образцов действовал только тепловой поток мощностью 35 кВт/м<sup>2</sup>. В режиме горения на каждый из 5 образцов действовал тепловой поток мощностью 25 кВт/м<sup>2</sup> одновременно с факелом горелки. Тепловой поток в камере с радиационной панелью контролировали с помощью РТ 0102-8-К, при этом погрешность измерений составляла  $\pm 2$  °С. По результатам испытаний, в двух режимах для образцов магнезитовых плит были определены средние коэффициенты дымообразования.

Значение коэффициента дымообразования в режиме горения составляет 1,36 м<sup>2</sup>/кг, в режиме тления – 0,98 м<sup>2</sup>/кг. Согласно 2.14.2 ГОСТ 12.1.044-89, образцы материала классифицируются как «материал с малой дымообразующей способностью», группа Д1 (с малой дымообразующей способностью), максимальное значение для которой составляет 50 м<sup>2</sup>/кг.

*Токсичность магнезита.* Установка группы токсичности материала является важной информацией при определении области применения того или иного стройматериала.

Испытания магнезитовых плит на токсичность не проводились из-за ограниченных возможностей научно-исследовательской лаборатории ЛГУ БЖД. Уровень токсичности этого материала можно оценить, если проанализировать его химический состав с учетом существующих сертификатов соответствия [9,10]. Согласно [10], магнезитовые плиты отнесены к группе токсичности Т2 (умеренноопасные). Такой показатель может обуславливаться наличием небольшого количества технических примесей и клеев, используемых в процессе изготовления магнезитовых плит.

Основными составляющими магнезита является оксид магния (MgO), хлорид магния (MgCl<sub>2</sub>), перлит, древесная стружка и стекловолокно. Вышеуказанные оксиды магния используются в пищевой промышленности, для производства огнеупоров и т. д. Перлит является экологически чистым и химически нейтральным материалом и не содержит тяжелых металлов [11].

Учитывая то, что вещества, входящие в состав магнезитовых плит нетоксичны, можно утверждать, что токсичность магнезитовых плит умеренная.

### **Исследования сэндвич-панелей на огнестойкость**

*Методика исследования.* Экспериментальные исследования фрагментов ограждающих конструкций проводились согласно методике, отвечающей требованиям действующих норм в Украине [12]. Суть испытания заключается в определении промежутка времени от начала огневого испытания при стандартном температурном режиме до наступления одного из предельных состояний конструкции, в частности по признаку потери теплоизолирующей способности или целостности в условиях, регламентированных ДСТУ Б В.1.1-4-98 [12].

Согласно методике испытаний, термопары для контроля изменения температуры в образцах устанавливались на внешней и внутренней поверхностях, а также на стыках слоев конструкций (рис. 3). Установленные термопары в печи и в опытных образцах были подключены к измерительно-интеллектуальному термопреобразователю марки ПВИ-0298 [13], который работает под управлением персонального компьютера с интервалом записи показаний термопар составляющем 5 сек. Диапазон измерения термопар – от 10 до 1 020 °С с точностью, соответствующей требованиям п. 5.3 [12].

Для проведения экспериментальных исследований были изготовлены 8 образцов с толщиной магнезитовых плит 6, 8, 10 и 15 мм. На первом этапе испытаны образцы с толщиной магнезитовых плит 6 и 8 мм [14]. На втором этапе проводились испытания 2 опытных образцов сэндвич-панелей типа СППМ-10 (сэндвич-панель с наполнителем «пенополистирол» и слоем магнезитовой плиты толщиной 10 мм) размерами 1200×1050×111 мм и 2 образца СППМ-15 (сэндвич-панель с наполнителем «пенополистирол» и слоем магнезитовой плиты толщиной 15 мм) размерами 1200×1050×116 мм (рис. 1). Во всех экспериментальных образцах в качестве теплоизолирующего наполнителя использовался пенополистирол марки ПСБ-С-35.

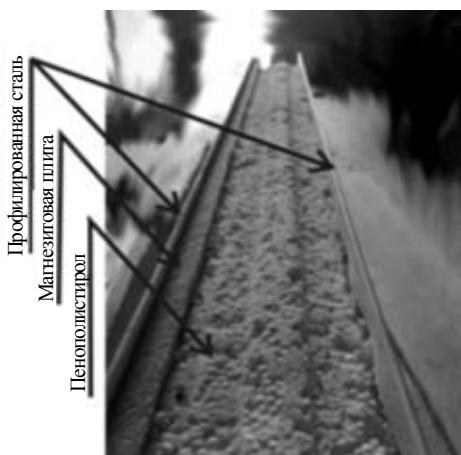
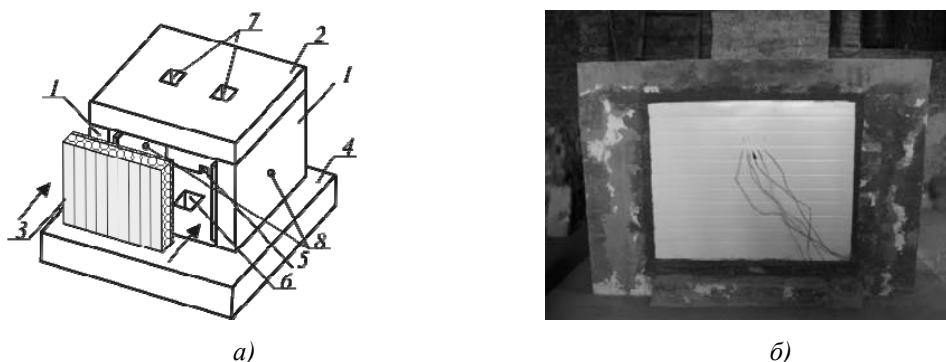


Рисунок 1 – Общий вид экспериментальных образцов СППМ

Испытания проводились в печи для теплофизических испытаний малогабаритных фрагментов зданий и отдельных узлов их стыковых соединений (патент Украины на полезную модель № 17160 от 15.09.2006 года) по методике [15]. При испытании определялся предел огнестойкости опытного образца по признаку потери теплоизолирующей способности и целостности.

Опытные фрагменты сэндвич-панелей монтировались в печь так, как отображено на рис. 2 а, б.

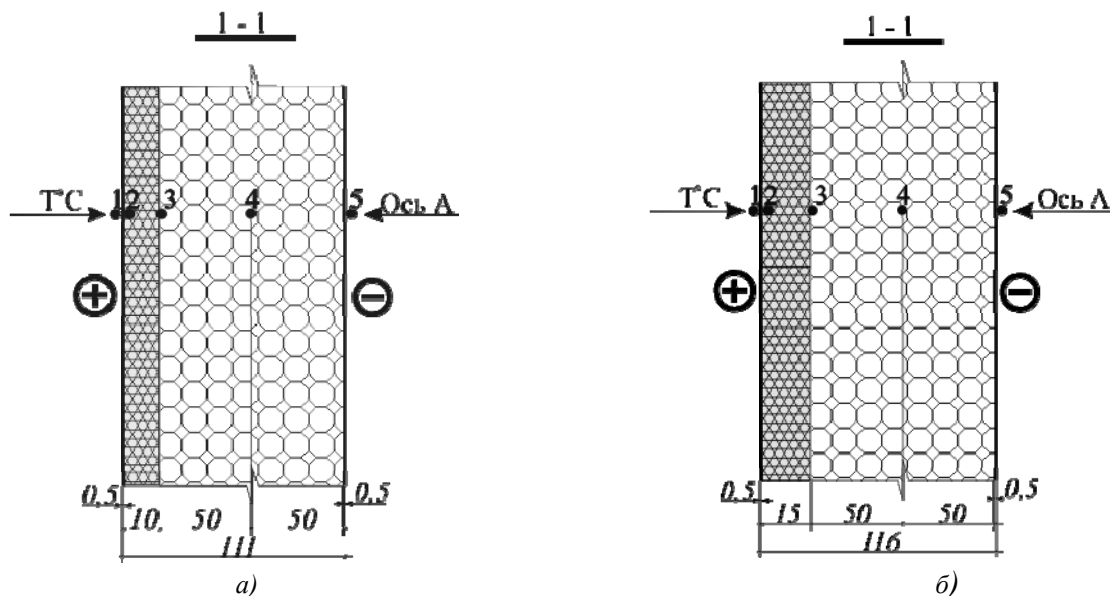


а) принципиальная схема монтажа: 1 – корпус; 2 – крышка; 3 – опытный образец; 4 – силовой пол; 5 – канал форсунки; 6 – дымовой канал; 7 – смотровые отверстия; 8 – отверстия для термопар;  
б) общий вид

Рисунок 2 – Схема монтажа опытного образца в испытательную печь

Перед началом огневых испытаний опытные образцы с установленными термопарами монтировались в испытательную печь. Для герметизации внутреннего пространства печи от окружающей среды щели по внешнему периметру опытных образцов обрабатывались минеральной ватой и цементным раствором.

В начале проведения экспериментов аппаратура и измерительное оборудование были включены, они выключались после потери огнестойкости каждым опытным образцом. При проведении экспериментов осуществлялось визуальное наблюдение за образцами совместно с поэтапной фото- и видеосъемкой.



а) СПИМ-10; б) СПИМ-15

Рисунок 3 – Схема расположения термопар в опытных образцах

Примечание: ⊖ – необогреваемая сторона, ⊕ – обогреваемая сторона.

Испытания на огнестойкость проводились с соблюдением правил безопасности труда и требований нормативных документов [12].

На рис. 3 схематически отображено размещение термопар в опытных образцах во время проведения испытаний.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

После завершения каждого опыта по данным показаний термопар были построены графики зависимостей изменения температуры от времени. Поскольку при проведении экспериментов произошло некоторое отклонение от стандартного режима, было осуществлено приведение реальной температуры печи до стандартной. Приведение осуществлялось по методу сопоставления площадей между кривыми, ограниченных ординатами температур, при которых достигнуто один из предельных состояний огнестойкости, и осями абсцисс [16].

На рис. 4, 5 показаны временные зависимости изменения температур в печи и опытных образцах марки СПИМ-10.



Рисунок 4 – График распределения температур в образце СПИМ-10-1



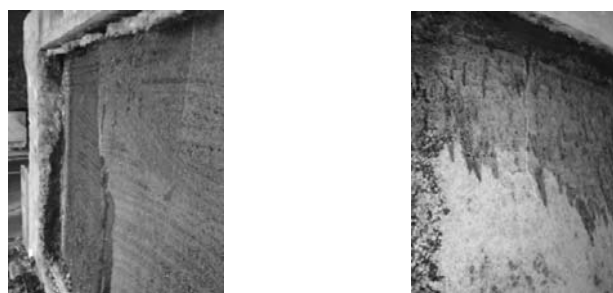
Рисунок 5 – График распределения температур в образце СПИМ-10-2

После испытания и охлаждения печи опытные образцы были демонтированы для проведения визуального осмотра (рис. 6).

Результаты испытаний образцов СПИМ-10:

- 1) опытные образцы подвергались огневому воздействию 60 мин.;
- 2) усредненное значение предела огнестойкости по признаку потери теплоизолирующей способности опытных образцов составляет не менее 37 мин.;
- 3) предел огнестойкости по признаку потери целостности опытных образцов не был достигнут;
- 4) пенополистирол выгорел полностью, и на магнезитовых плитах остались каплевидные частицы продуктов его сгорания.

На рис. 7, 8 изображены температурные кривые усредненного распределения температур по толщине для двух образцов СПИМ-15.



а) СПИМ-10-1; б) СПИМ-10-2

Рисунок 6 – Вид образцов СПИМ-10 после испытаний

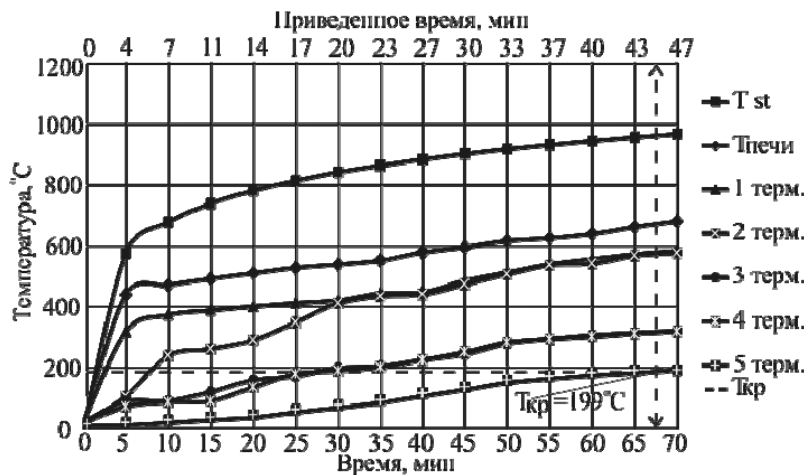


Рисунок 7 – График распределения температур в образце СПИМ-15-1

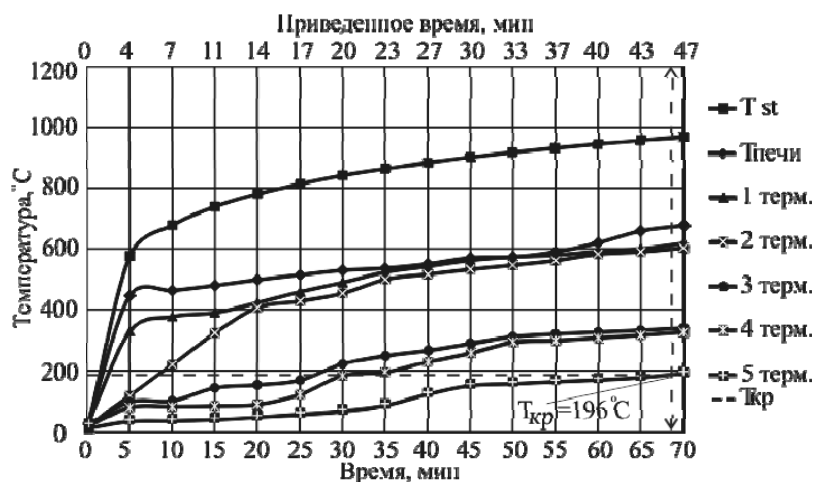
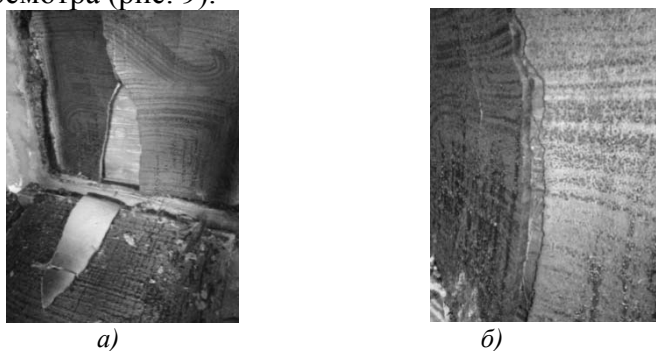


Рисунок 8 – График распределения температур в образце СПИМ-15-2

После испытания, как и в предыдущем случае, образцы были демонтированы для проведения визуального осмотра (рис. 9).



а) СПИМ-15-1; б) СПИМ-15-2

Рисунок 9 – Вид образцов СПИМ-15 после испытаний

Результаты испытаний образцов СПИМ-15:

- 1) опытные образцы подвергались огневому воздействию 70 мин.;
- 2) усредненное значение предела огнестойкости по признаку потери теплоизолирующей способности опытных образцов составляет не менее 45 мин.
- 3) предел огнестойкости по признаку потери целостности опытных образцов не был достигнут;



4) на магнизових плитах остались каплевидные частицы продуктов сгорания пенополистирола и образовались трещины в нижней части (рис. 9).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты проведенных исследований свидетельствуют о том, что предложенная конструкция сэндвич-панели имеет намного большую теплоизоляционную способность, нежели обычная конструкция. Для исследованных образцов были определены пределы их огнестойкости, а также области применения в строительстве. Конкретные выводы могут быть сформулированы следующим образом:

1. Предел огнестойкости экспериментального образца марки СППМ-10 составляет 37 мин., что согласно нормативным требованиям соответствует регламентированному пределу огнестойкости EI 30.

2. Предел огнестойкости экспериментального образца марки СППМ-15 составляет около 46 мин., что согласно нормативным требованиям соответствует регламентированному пределу огнестойкости EI 45.

3. Предел огнестойкости опытных образцов по признаку потери целостности не был достигнут.

4. Ограждающие конструкции марки СППМ-10 можно использовать в качестве внешних самонесущих стен в зданиях IIIа, IIIб, IV, VIа, V степеней огнестойкости и внутренних ненесущих (перегородок), III, IIIа, IIIб, IV, VIа, V степеней огнестойкости [2].

5. Ограждающие конструкции марки СППМ-15 можно использовать в качестве внешних самонесущих стен в зданиях, III, IIIа, IIIб, IV, VIа, V степеней огнестойкости и внутренних ненесущих (перегородок) III, IIIа, IIIб, IV, VIа, V степеней огнестойкости [2].

## ЛИТЕРАТУРА

1. Експериментальне дослідження вогнестійкості багат шарових огорожувальних конструкцій / А.П. Половко, Р.Б. Веселівський, О.О. Василенко, Ю.Є. Шелюх // Пожежна безпека: зб. наук. пр. – Львів, 2011. – № 19. – С. 118-123.
2. Захист від пожежі. Пожежна безпека об'єктів будівництва: ДБН В.1.1-7-2002 – К.: Держбуд України, 2003. – 42 с. – (Нормативний документ Державного комітету України з будівництва та архітектури).
3. Протокол випробувань на негорючість зразків магнизових плит науково-дослідного центру Українського науково-дослідного інституту цивільного захисту МНС України № 87/2Ц/1-2012 від 23.04.2012 р.
4. Протокол експериментального визначення негорючості будівельних матеріалів науково-дослідного відділу № 3 Українського науково-дослідного інституту пожежної безпеки № 28/ЗВ-2007 від 25.05.2007 р.
5. Захист від пожежі. Будівельні матеріали. Методи випробувань на горючість: ДСТУ Б.В.2.7-19-95: – Київ: Держбуд України, 1995. – 24 с.
6. Захист від пожежі. Будівельні матеріали. Метод випробування на займистість: ДСТУ Б.В.1.1-2-97 \* – Київ: Держбуд України, 1997. – 40 с.
7. Захист від пожежі. Будівельні матеріали. Метод випробування на розповсюдження полум'я: ДСТУ Б.В.2.7-70-98 – Київ: Держбуд України, 1998. – 12 с.
8. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения. ГОСТ 12.1.044-89 – М.: Из-во стандартов, 1989.
9. Висновок державної санітарно-епідеміологічної експертизи Державної санітарно-епідеміологічної служби № 05.03.02-03/40659 від 22.04.2011 р.
10. Технічне свідоцтво придатності будівельних виробів для застосування Міністерства регіонального розвитку та будівництва України № 37 від 08.08. 2007 р.
11. Химическая энциклопедия: В 5 т.: т. 2: Даффа-Меди / Редкол.: Кнунянц И. Л. (гл. ред.) и др. – М.: Сов. энцикл., 1990. – 671 с.: ил.

12. Захист від пожежі. Будівельні конструкції. Методи випробувань на вогнестійкість. Загальні вимоги: ДСТУ Б.В.1.1-4-98\*. – [Чинний від 1999-03-01]. – К.: Держбуд України, 2005. – 22 с. – (Національний стандарт України).
13. Перетворювач вимірювальний інтелектуальний ПВІ-0298. Настанова з експлуатації. БАУИ. 405179.004 РЭ.
14. Експериментальні дослідження межі вогнестійкості сендвіч-панелей з вогнезахистом із магнезитових плит/ О.О. Василенко, А.П. Половко, Рак Т.Є., // Пожежна безпека: зб. наук. пр. – Львів, 2012. – № 21. – С. 134-139.
15. Половко, А.П. Вогнестійкість енергоефективних стінових огорожувальних конструкцій житлових та громадських будівель: дис. ... к-та техн. наук: 21.06.02 / Половко А.П.; Львів. держ. ун-т безп. життєдіял. – Львів, 2009. – 193 с.
16. Демчина Б.Г. Вогнестійкість одно- і багатошарових просторових конструкцій житлових та громадських будівель: докт. дисерт. / дис. ... д-ра техн. наук: 05.23.01 / Демчина Б.Г.; Харків. держ. техн. ун-т будів. та архітект. – Харків, 2003. – 367 с.