

Використання фосфогіпсу у складі вапняно-пуцоланових в'язучих зумовлене активізуючою дією його сульфатної складової при зв'язуванні алюмінатів, що характерне у в'язучих на основі алюмінійвмісних пуцоланів – горілої та цеолітової породи.

Таким чином, оптимальним є склад вапняно-пуцоланового в'язучого (у мас.%): пуцоланова речовина – 75; негашене вапно – 20; фосфогіпс – 5. Згідно з результатами випробувань, в міру спадання міцності каменю, вказані в'язучі можна розташувати у послідовності: вапняно-опокове, вапняно-глинітне, вапняно-цеолітове. Марка вказаних в'язучих становить М150, М100, М100 відповідно.

#### **Висновки.**

1. Дослідженнями, наведеними у роботі, доведена доцільність використання фосфогіпсу для створення умов гідратаційного тверднення негашеного вапна і прискорення процесів раннього структуроутворення каменю, що в цілому призводить до підвищення міцності вапняно-пуцоланових в'язучих.
2. Утилізація фосфогіпсу та горілих порід дає можливість покращити екологічну обстановку у регіоні.

#### **СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ:**

1. <http://www.lviv.ua/news/7524>.
2. Горшков В.С., Тимашев В.В., Савельев В.Г. Методы физико-химического анализа вяжущих веществ: -М.: Высш.школа, 1981.-335 с.
3. Пащенко А.А., Сербин В.П., Старчевская Е.А. Вяжущие материалы. - К.: Выща школа, 1985.- 440с.
4. Пат. 5466 Україна, МКВ С 04 В 28/20. В'язуче. Ю.В.Боднар, Н.О.Ференц, Я.Б.Якимечко, №4886745/33; Заявл.04.12.90; Опубл. 28.12.94, Бюл. N7-1.

УДК 614.841.332

*Б.Б. Григорьян, к.т.н., доцент, С.В. Цвиркун, к.т.н., Е.В. Качкар (Академия пожарной безопасности имени Героев Чернобыля МЧС Украины)*

#### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

На основе результатов огневых испытаний проведено уточнение теплофизических характеристик теплоизоляционного материала в широком диапазоне температур пожара. Приведены результаты исследований по сравнительному анализу свойств теплоизоляционных материалов производимых различными фирмами.

**Актуальность проблемы.** Теоретические исследования и расчет огнестойкости теплоизоляционных материалов, изготовленных на основе минерального сырья, могут производиться, если известны теплофизические характеристики исследуемых материалов при высоких температурах.

Физико-химические свойства теплоизоляционных материалов в ряде случаев уже не соответствуют возрастающим современным техническим требованиям, предъявляемым к изделиям: невысокая температура применения, повышенная гигроскопичность, низкая вибростойкость, малая химическая стойкость, недостаточный срок службы и др.

Оценить предел огнестойкости новых строительных конструкций можно с помощью огневых испытаний или расчетным методом. Для проведения испытаний требуются

значительные материальные затраты и большое количество времени на проведение испытаний. Расчетный метод определения пределов огнестойкости обладает рядом преимуществ перед экспериментальным методом, но весьма ограничен в связи с отсутствием базы данных по характеристикам теплоизоляционных материалов. Наиболее эффективным при определении пределов огнестойкости является расчетно-экспериментальный метод, основанный на методах определения теплофизических характеристик теплоизоляционных материалов по данным огневых испытаний.

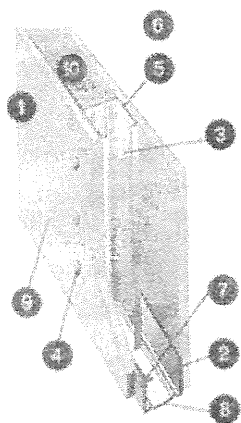
**Постановка проблемы и пути её решения.** Для расчетного определения предела огнестойкости разрабатываются и используются специальные компьютерные программы [1,2]. Основой этих программ является метод конечных элементов и конечных разностей, используемый в условиях дискретизации расчетных сечений. Применение методов математического моделирования для решения задач теплового проектирования огнестойких конструкций весьма распространено, но точность моделирования сильно зависит от точности задания теплофизических характеристик используемых теплоизоляционных материалов, которые определяются отдельно. В основном эти методы применяются при проектировании различных строительных конструкций, для проектировочных и проверочных расчетов и определения оптимальной толщины огнезащитного слоя используемого теплоизоляционного материала (при известных теплофизических характеристиках материала), например, толщины огнезащитного слоя из базальтовой плиты SANDWICHROCK, при которой обеспечивается требуемый предел огнестойкости конструкции.

**Объект испытаний:** ненесущая стена из трехслойных стеновых панелей с минераловатным заполнением (ширина 1200 мм, толщина 150 мм).

Каждый образец выполнен из трех панелей при условии обеспечения двух вертикальных стыков длиной 3200 мм. Панели скреплены саморезами на двух горизонтально расположенных гнутых П-образных профилях С200 (200x70 мм выполненных из стального листа толщиной 3 мм, расстояние между профилями 1,5 м). На стыках панелей перед их стягиванием проложена лента из базальтовой плиты ROCKMIN (толщина 10 мм, плотность 30 кг/м<sup>3</sup>). Каждый образец обрамлен по контуру П-образным профилем из оцинкованной стали толщиной 1,5 мм.

Панель выполнена (рис. 1) из двух стальных оцинкованных листов толщиной 0,5 мм с нанесением лакокрасочного покрытия, между которыми расположена минераловатная плита SANDWICHROCK, фирмы "Rockwool Polska Sp. z o.o." (плотностью 117 кг/м<sup>3</sup>).

На поверхностях образцов, противоположных тепловому воздействию установлено по 7 термопар ТХА, первые пять из которых применяются для определения средней температуры. Термопары Т6-Т7 установлены в местах стыков панелей.



- 1 – металлический оцинкованный лист
- 2 – профиль направляющий
- 3 – профиль
- 4 – шуруп самонарезной
- 5 – шпаклівка
- 6 – лента на стыках панелей
- 7 – дюбель
- 8 – лента уплотнительная
- 9 – лакокрасочное покрытие оцинкованного листа
- 10 – минераловатная плита (плотность 117 кг/м<sup>3</sup>)

Рис. 1. Схема исполнения образцов

## Метод определения пределов огнестойкости по результатам огневых испытаний.

Определение пределов огнестойкости ограждающих конструкций осуществляется согласно [3,4].

Метод состоит в нагреве образцов стены (далее – образцов) при стандартном температурном режиме, которые устанавливаются в вертикальное отверстие огневой печи, и определении времени, когда достигается одно из предельных состояний по признакам потери целостности и (или) теплоизолирующей способности (для несущих стен и перегородок). Для наружных стен учитывается только предельное состояние по признакам потери целостности.

Испытанию подвергаются два образца стены. Образцы должны иметь размеры, которые отвечают проектным размерам стены. Если образцы таких размеров подвергнуть испытанию невозможно, то испытанию подвергаются фрагменты стен. В этом случае высота и (или) ширина образца должны быть не менее чем 3000 мм.

### Результаты расчетов.

Искомыми характеристиками являлись коэффициенты теплопроводности и теплоемкости минераловатной плиты, зависящие от температуры в исследуемом диапазоне температур (13-1132 °С).

На рис. 2 и 3 приведены найденные зависимости коэффициентов теплопроводности  $\lambda$  и удельной объемной теплоемкости  $C \cdot \rho$  от температуры, где  $\rho$  – плотность используемой минераловатной плиты.

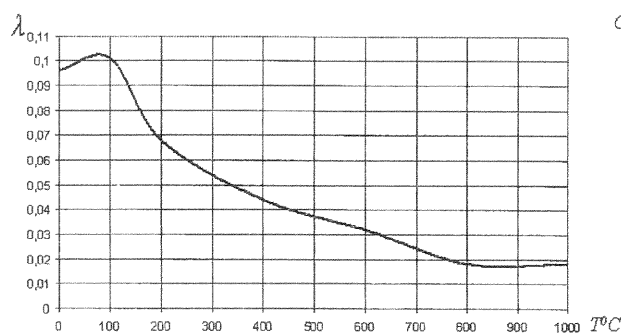


Рис. 2. Зависимость коэффициента теплопроводности от температуры

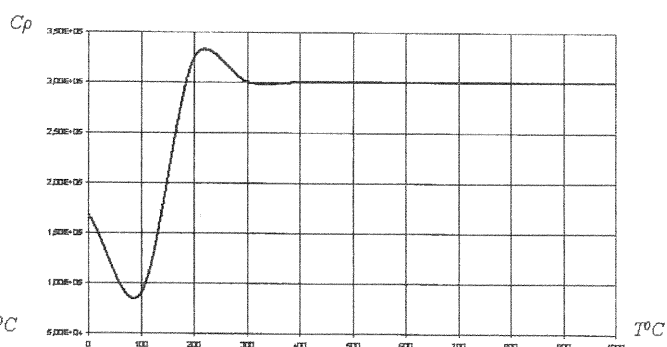


Рис. 3. Зависимость удельной объемной теплоемкости ( $C \cdot \rho$ ) от температуры

На рис. 4 приведены зависимости экспериментальных и расчетных температур от времени в местах установки термопар (Т1 – Т7).

Близость экспериментальных и расчетных значений температур в местах установки термопар (расчетные значения – кривые № 1 и № 2 на рис. 4) показывает минимум критерия среднеквадратичного отклонения, значение которого составляет величину 10,82°С.

В результате расчетов определен предел огнестойкости несущей стены из трехслойных стеновых панелей толщиной 150 мм, которая составляет не менее 153 минут (EI 150). Найденны постоянные значения эффективных коэффициентов теплопроводности и теплоемкости для используемых образцов строительных конструкций, которые составляют 0,06 Вт/(м·К) и  $1,4 \cdot 10^5$  Дж/(м<sup>3</sup>·К), для которых минимум критерия среднеквадратичного отклонения составляет 30,3 °С.

Анализ запросов на специальные типы теплоизоляции показывает, что возрастает спрос на изоляционные материалы, применяющиеся при повышенных температурах. Особенно остро эта проблема стоит при реконструкции объектов промышленной и коммунальной энергетики, где температуры изолируемых объектов достигают 600-900°С. Материалы, которые были заложены в первоначальные проектные решения, либо уже сняты с

производства, как например, совелитовые плиты, либо морально устарели и не отвечают современным требованиям по теплоизоляции [5].

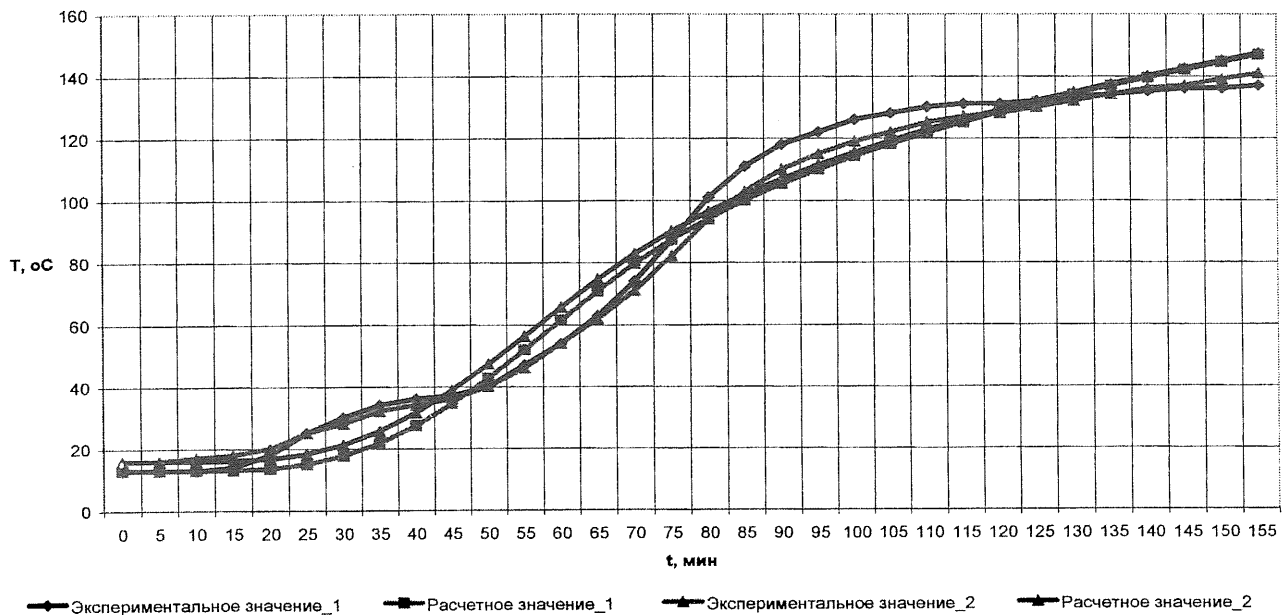


Рис. 4. Расчетные и экспериментальные значения температур в местах установки термопар для образцов №1 и №2

Применение комбинации жестких и мягких базальтовых материалов позволяет более чем в 2 раза сократить затраты на монтаж высокотемпературной изоляции и повысить ее эффективность на 15-20% по сравнению с известными техническими решениями. Практический интерес представляет также комбинированное применение базальтовых волокнистых материалов и традиционных органических материалов.

Проблемы высокотемпературной теплоизоляции могут быть эффективно решены путем совместного использования базальтоволокнистых материалов и муллитно-кремнеземной изоляции, которая также производится в Украине. В табл. 1-2 приведены характеристики отечественных материалов в сравнении с волокнистой изоляцией, которая рекомендована американскими стандартами для применения на энергетических объектах.

Из проведенного анализа сравнительных характеристик теплоизоляционных материалов, можно сделать вывод, что начиная от 150°C и выше базальтовые теплоизоляционные материалы имеют лучшие теплозащитные характеристики (коэффициент теплопроводности при 300°C у них равен 0,070 Вт/м·К, тогда как у материалов по ASTM C 592-97 и ASTM C 612-93, соответственно, 0,1 Вт/м·К и 0,09-0,13 Вт/м·К, а у силиката кальция по ASTM C 533-95 0,095 Вт/м·К). Материалы из муллитно-кремнеземного волокна обладают меньшим коэффициентом теплопроводности, однако предельная температура их применения значительно превосходит температуру, указанную для изделий по ASTM C 592-97, ASTM C 612-93 и ASTM C 533-95, что позволяет использовать их для изоляции сильно нагретых поверхностей котельных агрегатов. Теплоизоляция из силиката кальция, кроме того, обладает очень высоким сорбционным увлажнением (до 20 %), тогда как сорбционное увлажнение базальтовых теплоизоляционных материалов не превышает 5%. Соединяя плиты или формованные изделия из базальтового супертонкого волокна (БСТВ) и муллитно-кремнеземного волокна при помощи неорганического связующего (ТУ В.2.7-16403272.001-97), которое имеет максимальную температуру применения около 850 °C, можно получить гибридный материал, выдерживающий рабочий интервал температур до 1100 °C и имеет коэффициент теплопроводности в пределах 0,1 Вт/м·К [6].

## Сравнительные характеристики теплоизоляционных материалов

Изоляционный материал										
	Маты минеральные по ASTM C 612						Базальтовый картон теплоизол. ТК-1-10	Материалы плиты теплоизол. ПЖТЗ	Муллитокремнеземная плита	
	1A	Ш	II	III	IV	V				
Максимальная температура применения, °C	232	232	454	538	649	982	700(900*)	700(900*)	250	
Коэффициент теплопроводности, Вт/м•К при:										
24 °C	0,037	0,037	0,036	0,036	0,035	-	0,045	0,046	-	
38 °C	0,040	0,039	0,039	0,039	0,036	-	-	-	-	
93 °C	0,051	0,049	0,050	0,050	0,050	-	-	-	-	
115 °C	-	-	-	-	-	-	-	0,056	-	
149 °C	0,066	0,060	0,063	0,063	0,053	0,061	-	-	-	
204 °C	-	-	0,079	0,079	0,065	0,075	-	-	-	
260 °C	-	0,101	0,101	0,078	0,092	-	-	-	-	
300 °C	-	-	-	-	-	-	-	0,070	-	
316 °C	-	-	-	0,130	0,094	0,104	-	-	-	
371 °C	-	-	-	-	0,111	0,114	-	-	-	
600 °C	-	-	-	-	-	-	-	-	0,22	
Усилие сжатия при деформации 10%, кПа		12				48		Сжимаемость не более 6%		
Линейная усадка при максимальной температуре применения, %	2,0	2,0	2,0	2,0	4,0	4,0	-	-	-	
Изоляционный материал										
	Маты минеральные по ASTM C 612						Базальтовые материалы		Муллитокремнеземная плита	
	1A	1B	II	III	IV	V				
Сорбционное увлажнение, вес. %	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	-	
индекс распространения пламени								Не горит	Не горит	Не горит
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	192	192	192	192	240	320	200	250	400	
Размеры, см:										
длина	91,4-122	91,4-122	91,4-122	91,4-122	91,4-122	91,4-122	120	112	70	
ширина	48-24,36	48-24,36	48-24,36	48-24,36	48-24,36	12,24-85				
толщина	2,54-10,16	2,54-10,16	2,54-10,16	2,54-10,16	2,54-10,16	2,54-10,16	1-5**	1,5-10**	4	

\* При усадке до 10%.

\*\* Кассетный теплоизолирующий материал.

## Сравнительные характеристики теплоизоляционных материалов

Изоляционный материал					
Наименование параметра	Маты по ASTM C 592, покрытые металлической сеткой		Базальтовые материалы		Маты по ASTM C 592, покрытые металлической сеткой
	Тип I	Тип II	Картон теплоизоляц. ТК-1-10	Плиты теплоизоля ц. ПЖТЗ	Маты МКРФ-100
1	2	3	4	5	6
Максимальная температура применения, °С	454	649	700 (900*)	700 (900*)	1260
Коэффициент теплопроводности, Вт/м·К					
24 °С	0,036	0,036	0,045	0,046	-
38 °С	0,039	0,039	-	-	-
93 °С	0,049	0,049	-	-	-
115 °С	-	-	-	0,056	-
149 °С	0,062	0,060	-	-	-
204 °С	0,079	0,076	-	-	-
260 °С	0,101	0,092	-	-	-
300 °С	-	-	-	0,070	-
316 °С	-	0,108	-	-	-
317 °С	-	0,124	-	-	-
600 °С	-	-	-	-	0,15
Линейная усадка при максимальной температуре применения, %	4,0	4,0	-	-	-
Сорбционное увлажнение, вес %	5,0	5,0	5,0	5,0	-
Характеристики поверхностного горения (индекс распространения пламени)			Не горит	Не горит	Не горит
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	160	192	200	250	100
Размеры, см:					
Длина	122; 244	122; 244	120	112	200
Ширина	61; 91,4	61; 91,4	85	85	60; 120
Толщина	2,54-15,2**	2,54-15,2**	1-5**	1,5-10**	20

\* При усадке до 10 %.

\*\* Толщина более 5 см достигается набором двух и более слоев.

Помимо всего спектра теплоизоляционных материалов для объектов энергетики, метрополитенов, которые динамично развиваются, значительный интерес представляет использование базальтволоконистых материалов для изоляции плоских нагруженных конструкций. В данном случае благодаря особенностям технологии изготовления жестких плит из БСТВ возможно получить одновременно тепло- и пожарозащитный эффект.

**Выводы.** Таким образом, изучение свойств базальтовых теплоизоляционных материалов в процессе их нагрева до высоких температур, разработка номограмм, позволяющих в короткий срок с минимальной погрешностью определять зависимость предела огнестойкости защищаемой конструкции от толщины используемого материала, является весьма важной составной частью для решения общей проблемы огнестойкости новых строительных конструкций зданий.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Круковский П.Г. Универсальный программно-методический подход к решению обратных задач теплопереноса (программа FRIEND). // В кн. Идентификация динамических систем и обратные задачи. Труды II Межд. конф., С.-Петербург, 1994, т. 1, - с. А.8.1 - А.8.12.
2. Ansys Basic Analysis Produced Guide. Rel. 5.4. / Ansys Inc. Houston, 1997
3. ДСТУ Б В. 1.1-4-98 «Строительные конструкции. Методы испытаний на огнестойкость. Общие требования»
4. «Методика испытаний строительных ограждающих конструкций на огнестойкость» (УкрНИИПБ МВД Украины от 22 мая 2002 г.).
5. Григорьян Б.Б., Поздеев С.В., Качкар Е.В. Анализ состояния вопроса об использовании минераловатных изделий в качестве огнезащиты для строительных конструкций. Проблемы ПБ.- Харьков: УГЗУ, 2007.- Вып.21.- с.58-65.
6. Базальтоволокнистые материалы: Сборник статей // под ред. Костикова В.И., Смирнова Л.Н. – М.: Информконверсия, 2001-307с.

УДК 629.113:614.842

*В.Б. Завер, ад`юнкт, Р.Т. Ратушний, к.т.н., доцент (Львівський державний університет безпеки життєдіяльності), В.О. Тимочко к.т.н., доцент (Львівський державний аграрний університет)*

#### НАУКОВО-МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ ПРОЕКТУ СИСТЕМИ ПРОТИПОЖЕЖНОГО ЗАХИСТУ ГІРСЬКОГО ЛІСОВОГО РАЙОНУ

Окреслено завдання аналізу та синтезу системи протипожежного захисту гірського лісового району на основі моделювання. Розглянуто наукові підстави створення концептуальної моделі системи. Обґрунтовано вхідні впливи, параметри та характеристики основних підсистем системи протипожежного захисту гірського лісового району. Сформульовані головні задачі для оптимізації системи.

**Сучасний стан проблеми.** Пожежі, які виникають у гірських лісових районах призводять до значних матеріальних втрат. Впродовж останніх 15 років у лісах Криму відбулося понад 2,2 тисячі лісових пожеж на загальній площі понад 2,1 тисячі га, в тому числі верхових – 458 га. Збиток, нанесений лісовому господарству, склав понад 1 млн. грн. Внаслідок пожежі, яка відбулася у 2007 році в урочищі Уч-Кош Ялтинського лісництва Кримського природного заповідника та Гурзуфського лісництва Ялтинського гірничо-лісового природного заповідника було знищено вогнем понад 200 га лісового масиву, загинуло дві людини. До гасіння пожежі було залучено понад 950 чол. особового складу МНС, МВС, МО, Ялтинського лісництва тощо. Сучасний стан в економіці держави диктує потребу підвищення рівня пожежної безпеки у гірських лісових районах за умови