

УДК 614.841.332:620.197.6

ЦВИРКУН С.В.

Черкасский институт пожарной безопасности им. Героев Чернобыля

ДИАГРАММЫ ОГНЕЗАЩИТНОЙ СПОСОБНОСТИ МАТЕРИАЛОВ ПОКРЫТИЙ НА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЯХ

Наведено діаграми вогнезахисної здатності для вогнезахисних матеріалів покриттів з армованого гіпсу, вермикуліту та матеріалу СП-А2, що сплучується, для яких раніше методом зворотних задач отримано температурні залежності теплопровідності й питомої об'ємної теплоємності в діапазоні температур від кімнатних до 1000 °С. Діаграми необхідні для практичного експрес-визначення товщини вибраного вогнезахисного матеріалу при заданих значеннях вогнестійкості та зведених товщині сталевій несучій або огорожувальної конструкцій, що використовуються для об'єктів цивільного та промислового будівництва.

Приведены диаграммы огнезащитной способности для огнезащитных материалов покрытий из армированного гипса, вермикулита и вспучивающегося материала СП-А2, для которых ранее методом обратных задач получены температурные зависимости теплопроводности и удельной объемной теплоемкости в диапазоне температур от комнатных до 1000 °С. Диаграммы необходимы для практического экспресс-определения толщины выбранного огнезащитного материала при заданных значениях огнестойкости и приведенной толщины стальной несущей или ограждающей конструкций, используемых для объектов гражданского и промышленного строительства.

We present diagrams of the fireproof ability for fireproof cover materials made of reinforced plaster, vermiculite, and swelling SP-A2 material, for which temperature dependences of the heat conductivity and volume specific heat the temperature range from room up to 1000 °C were obtained earlier using the method of inverse problems. These diagrams are necessary for practical express determination of the thickness of the chosen fireproof material for the given values of fire resistance and reduced thickness of a steel bearing or protective structure, used for objects of civil and industrial building.

C – удельная объемная теплоемкость;
 n – общее количество точек измерения температуры;
 R – потеря несущей способности;
 T – температура;
 λ – коэффициент теплопроводности;

ρ – плотность
 ТФХ – теплофизические характеристики.
Индексы:
 Верхние
 э – экспериментальное значение;
 р – расчетное значение.

Введение

Одним из способов обеспечения огнестойкости металлических строительных конструкций является покрытие их огнезащитными материалами. Для обеспечения требуемой огнестойкости металлических конструкций существуют специальные огнезащитные материалы, которые наносят на металлические строительные конструкции. Для проектирования металлических конструкций с заданными пределами огнестойкости необходимо уметь рассчитывать тепловое состояние этих конструкций вместе с огнестойкими покры-

тиями на поверхности конструкций при нагреве в условиях, близких к так называемым условиям стандартного нагрева в огневых испытательных печах. Результатом таких расчетов является, как правило, минимальная толщина покрытия, удовлетворяющая заданной огнестойкости рассматриваемой металлической конструкции. Для таких расчетов нужна информация о теплофизических характеристиках (ТФХ) материала покрытия. Как правило, ТФХ огнезащитных покрытий зависят от температуры в диапазоне температур от комнатных до 1000 °С и наиболее часто определяются методами обратных задач по данным измере-

ния температур в отдельных точках образцов “покрытие-металлическая стенка” при испытании этих образцов в огневых печах. Необходимо отметить работы Коздобы Л.А., Мацевитого Ю.М., Круковского П.Г., Новака С.В. и др. (Украина), а также Алифанова О.М., Страхова В.Л. и др. (Россия), посвященных как развитию методов обратных задач, так и их применению к определению ТФХ различных материалов. Методика нахождения зависимости толщины огнезащитного покрытия от приведенной толщины металлической конструкции для разных значений пределов огнестойкости описана в Европейском стандарте [1]. Но эта методика требует испытания большого количества образцов (10–26), а также необходимость задавать теплоемкость огнезащитного материала.

После проведения всех расчетов наибольшую практическую ценность представляют диаграммы огнезащитной способности огнезащитных покрытий, представляющих собой зависимость толщины огнезащитного покрытия от приведенной толщины металлической конструкции для разных значений пределов огнестойкости. Диаграммы получают путем многократного решения задач теплопроводности для двухслойной пластины с различными толщинами огнезащитного покрытия и приведенной толщины металлической конструкции.

Авторами работ [2–4] ранее были получены температурные зависимости ТФХ огнезащитных покрытий из армированного гипса, вермикулита и вспучивающегося материала СП-А2 фирмы “Браншудс” (Германия) в диапазоне температур от комнатных до 1000 °С по данным измерения температур в отдельных точках образцов “покрытие-металлическая стенка” при испытании этих образцов в огневых печах. Для таких материалов в литературе нет диаграмм огнезащитной способности, поэтому получение таких диаграмм является целью данной работы.

Методика и результаты получения теплофизических характеристик

В работах [2–4] были проведены эксперименты по определению огнестойкости материалов. Для определения коэффициента теплопроводности и удельной объемной теплоемкости покры-

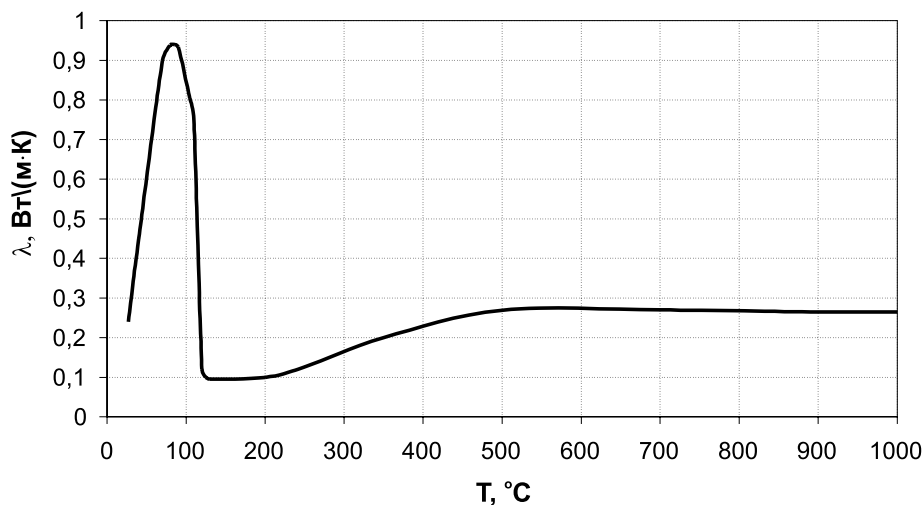
тий по данным измерений использовался метод решения обратных задач. Для этого была создана компьютерная модель теплового состояния исследуемой конструкции, позволяющая рассчитать одномерное распределение температур во всех пространственных точках слоев во времени и, в частности, в точках расположения термопар при условиях нагрева, близких к условиям стандартного температурного режима пожара. Компьютерная численная модель учитывает радиационно-конвективный теплообмен между нагреваемой поверхностью покрытия и горячими газами печи.

Специальный итерационный метод и программа, описанные в [5], позволяют находить эти теплофизические характеристики как функции, зависящие от температуры, и одновременно получать расчетные кривые температур в точках размещения термопар. Способ получения эффективных коэффициентов теплопроводности и теплоемкости покрытий заключался в выборе таких зависимостей этих коэффициентов от температуры, которые дают расчетные температурные кривые, полученные с помощью моделей, как можно более близкие к соответствующим экспериментальным значениям температур во времени для разных схем испытаний.

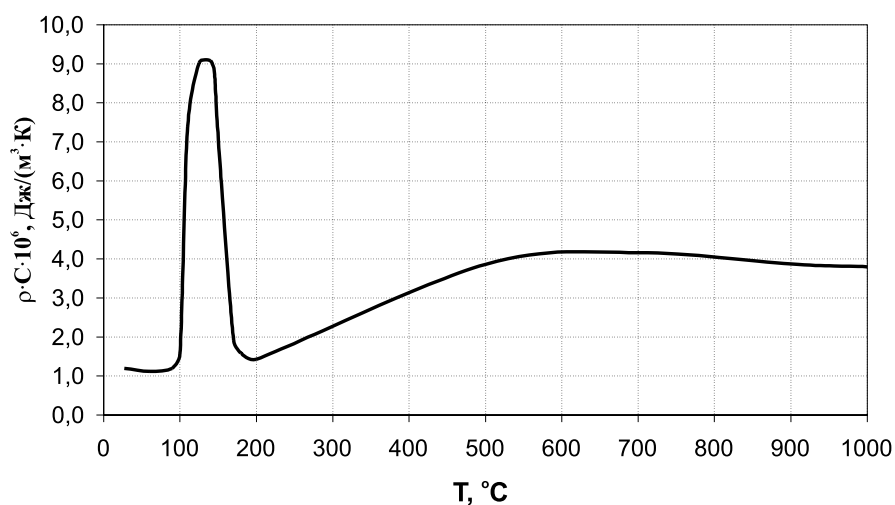
Математически методика заключается в минимизации критерия

$$\phi = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [T_i^{\text{э}} - T_i^{\text{р}}(\lambda, C)]^2} \longrightarrow \min, \quad (1)$$

Под словосочетанием выбор зависимостей подразумевается выбор вида аппроксимации функциональных зависимостей теплопроводности λ и теплоемкости C от температуры с последующим поиском параметров этих аппроксимаций. В нашем случае такими параметрами были коэффициенты сплайн-представления функциональных зависимостей теплопроводности и теплоемкости от температуры. Для функциональной зависимости теплопроводности от температуры был выбран кубический вид сплайн-представления, для получения более устойчивого решения дополнительно требовалось также применение метода регуляризации А.Н.Тихонова, описанного в [5–6].



a



б

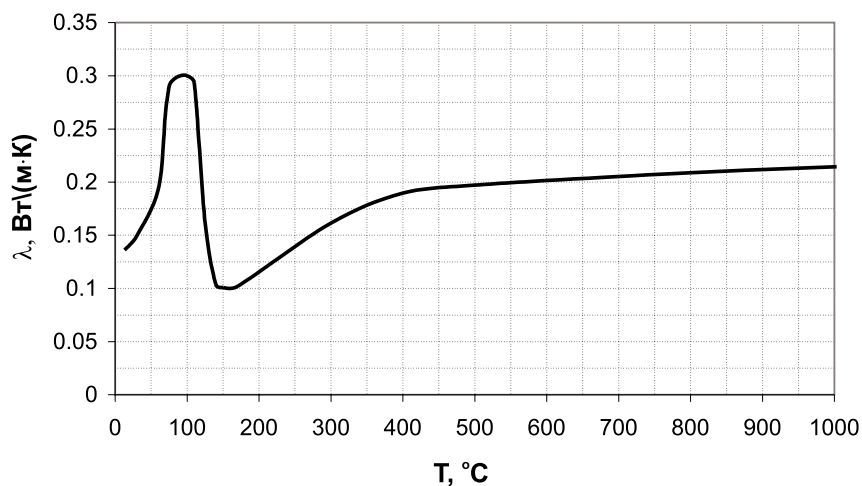
Рис. 1. Зависимость эффективных коэффициента теплопроводности (а) и удельной объемной теплоемкости (б) гипсового покрытия от температуры.

Процедура решения обратных задач, рассмотренная в [5], позволяет использовать результаты нескольких тестовых испытаний (экспериментов) одновременно. Преимущество состоит в том, что одновременное использование нескольких экспериментальных данных позволяет резко повысить устойчивость (отсюда и точность) решения обратных задач, особенно в условиях ограниченного объема экспериментальных данных, что имеет место в рассматриваемом в данной работе случае.

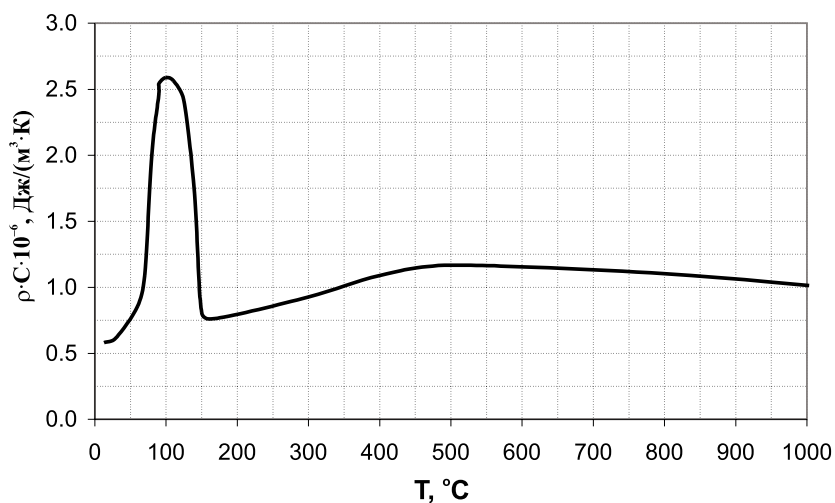
В результате проведенных экспериментов и решений обратных задач найдены зависимости эффективных коэффициентов теплопроводности λ

и удельной объемной теплоемкости C от температуры для трех огнезащитных материалов, - армированного гипса [2], рис.1, вермикулита [3], рис.2, и вспучивающегося материала СП-А2 [3], рис.3 при условиях нагрева, близких к условиям стандартного температурного режима пожара.

Анализ экспериментальных кривых температуры во времени гипсового и вермикулитового огнезащитных материалов, в местах установки термопар, показывает наличие горизонтальных участков в районе 100 °С. Это объясняется дегидратацией и испарением содержащейся в материалах воды, интенсивным поглощением теплоты, поэтому зависимость эффективной теплоемкос-



а



б

Рис. 2. Зависимость эффективных коэффициента теплопроводности (а) и удельной объемной теплоемкости (б) вермикулитового покрытия от температуры.

ти от температуры (рис. 1(б), 2(б)) имеет при ~100 °С “всплеск”, который после 150 °С снижается. Пик теплопроводности в ~100 °С (рис. 1(а), 2(а)) объясняется оттоком паров воды от мест, где происходит дегидратация и испарение воды, что приводит к увеличению транспорта теплоты и росту эффективной теплопроводности.

Анализируя экспериментальные температурные кривые во времени для вспучивающего огнезащитного материала СП-А2, видим наличие изломов этих кривых в области температур 500...700 °С. Это объясняется вспучиванием материала покрытия и сопровождающих это вспучивание физико-химических процессов в материале с поглощением теплоты. Поэтому зависимость

теплоемкости от температуры (рис. 3, б) была выбрана в виде равнобедренной трапеции и имеет в области температур 500...700 °С максимум.

Методика получения диаграммы огнезащитной способности покрытий

После проведения всех расчетов наибольшую практическую ценность представляют так называемые диаграммы огнезащитной способности огнезащитных покрытий, представляющих собой зависимость толщины огнезащитного покрытия от приведенной толщины металлической конструкции для разных значений пределов огнестойкости. Диаграммы были получены путем

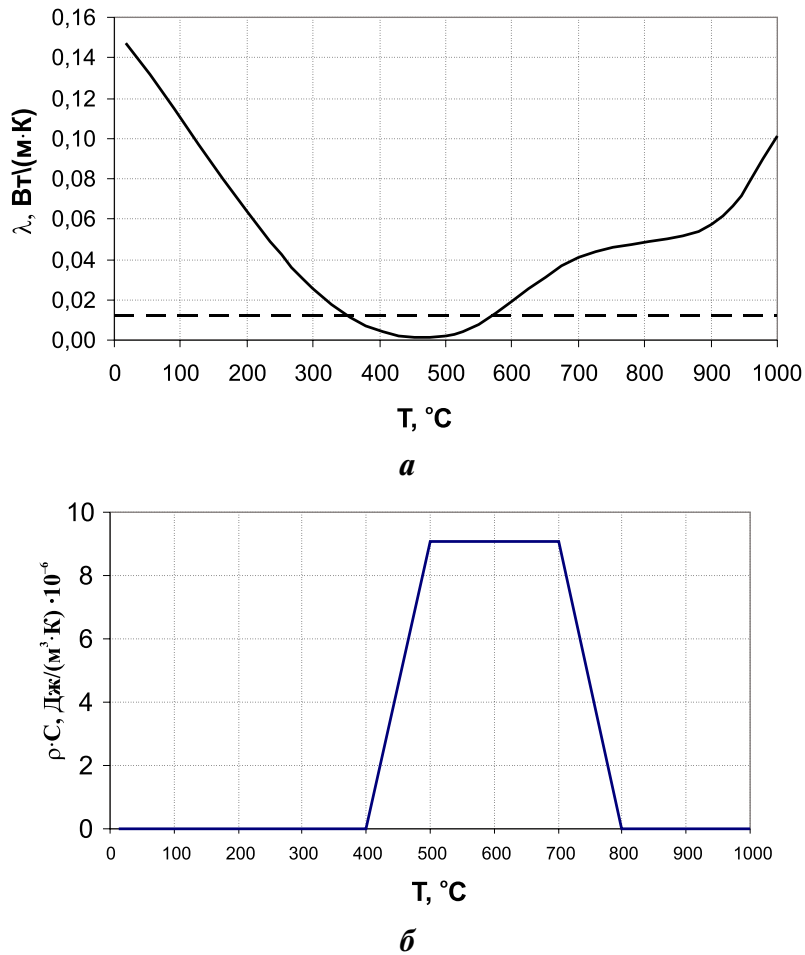


Рис. 3. Зависимость эффективных коэффициента теплопроводности (а) (сплошная кривая – функция, пунктир – константа) и удельной объемной теплоемкости (б) покрытия СП-А2 от температуры.

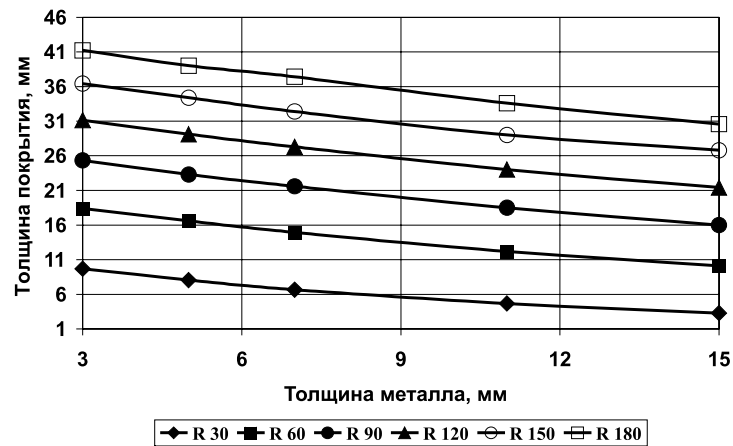


Рис. 4. Зависимость толщины гипсового огнезащитного покрытия от толщины металла для различных пределов огнестойкости R , мин.

многократного решения прямых задач теплопроводности для двухслойной пластины с различными толщинами огнезащитного покрытия и при-

веденной толщины металлической конструкции для полученных эффективных коэффициентов теплопроводности и теплоемкости материалов.

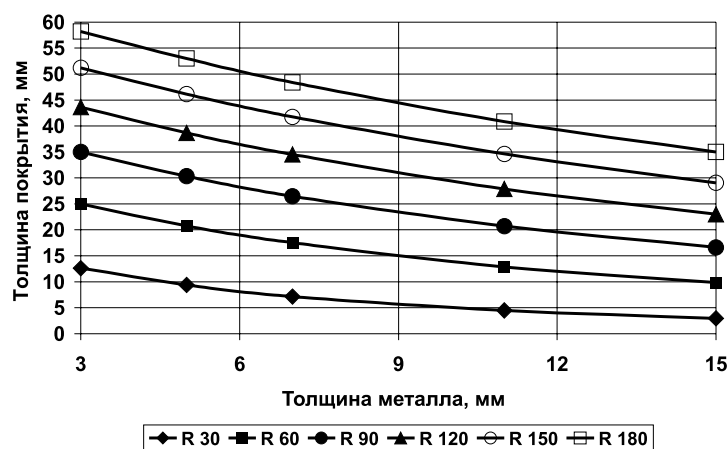


Рис. 5. Зависимость толщины вермикулитового огнезащитного покрытия от толщины металла для различных пределов огнестойкости R, мин.

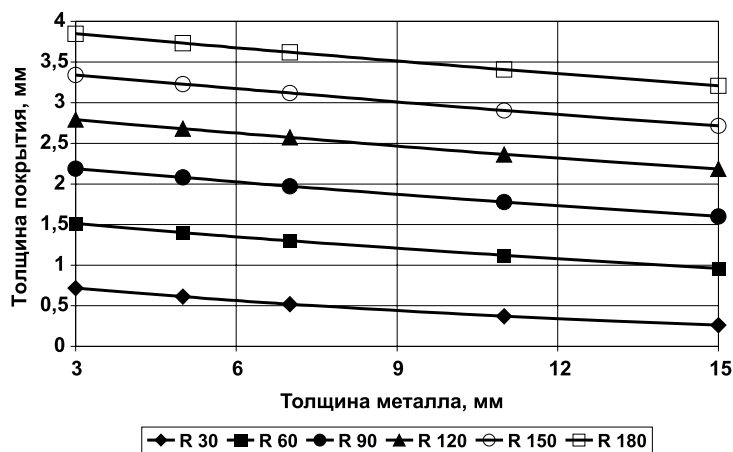


Рис. 6. Зависимость толщины вспучивающегося огнезащитного покрытия СП-А2 от толщины металла для различных пределов огнестойкости R, мин.

Решением прямых задач определялись температуры на металлической пластине для разных толщин металла и покрытия при различных огнестойкостях (временах достижения критической температуры на металле) при стандартном температурном режиме нагрева образцов. Критическая температура была взята 500 °С, а огнестойкости – 30, 60, 90, 120, 150 и 180 минут. Диапазон приведенных толщин металла был выбран от 3 до 15 мм, так как в этом диапазоне толщин выполнено большинство строительных металлических конструкций.

На рис. 4–5 приведены полученные номограммы – зависимости толщины различных материалов огнезащитных покрытий от приведенной толщины металла для различных пределов огнестойкости R.

Выводы

Получены диаграммы огнезащитной способности для огнезащитных материалов покрытий из армированного гипса, вермикулита и вспучивающегося материала СП-А2, для которых ранее методом обратных задач получены температурные зависимости теплопроводности и удельной объемной теплоемкости в диапазоне температур от комнатных до 1000 °С.

Диаграммы необходимы для практического экспресс-определения толщины выбранного огнезащитного материала при заданных значениях огнестойкости и приведенной толщины стальной несущей или ограждающей конструкций, используемых для объектов гражданского и промышленного строительства.

ЛИТЕРАТУРА

1. *European Prestandart ENV 13381-4:2002 Test methods for determining the contribution to the fire resistance of structural members – Part 4: Applied protection to steel members.*

2. *Цвиркун С.В., Круковский П.Г.* Идентификация теплофизических характеристик огнезащитных материалов по экспериментальным данным огневых испытаний. // Пром. Теплотехника.- 2004.-Т26.-№6.- С. 89-93.

3. *Цвиркун С.В., Круковский П.Г.* Определение теплофизических характеристик вермикулито-силикатных плит по экспериментальным данным огневых испытаний. // Вісник Черкаського державного техно-

логічного університету. – 2005. – №2. – С. 129–132.

4. *Круковский П.Г., Цвиркун С.В.* Определение теплофизических характеристик вспучивающегося огнезащитного покрытия по данным огневых испытаний. // Науковий вісник УкрНДІПБ. – 2005. – № 1. – С. 5–13.

5. *Круковский П.Г.* Обратные задачи тепло-массопереноса (общий инженерный подход). Киев, Институт технической теплофизики НАН Украины, 1998, 224 с.

6. *Коздоба Л.А., Круковский П. Г.* Методы решения обратных задач теплопереноса. Киев, Наукова думка, 1982, 360 с.

Получено 26.08.2005 г.