

*А.И. Ковалев (Академия пожарной безопасности им. Героев Чернобыля МЧС Украины), П.Г. Круковский, д-р техн. наук, профессор (Институт технической теплофизики НАН Украины), Е.В. Качкар, канд. техн. наук (Академия пожарной безопасности им. Героев Чернобыля МЧС Украины), А.А. Абрамов (Испытательный центр ТОВ «Тест»)*

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОГНЕЗАЩИТНОЙ СПОСОБНОСТИ ВСПУЧИВАЮЩЕГОСЯ ОГНЕЗАЩИТНОГО ПОКРЫТИЯ НА БЕТОННОЙ ПЛИТЕ**

Приведены результаты огневых испытаний бетонных плит, покрытых с одной стороны вспучивающимся огнезащитным покрытием Феникс СТВ. Кратко изложена методика определения теплопроводности, теплоемкости и характеристики огнезащитной способности покрытия расчетно-экспериментальным методом. Получена характеристика огнезащитной способности вспучивающегося огнезащитного покрытия Феникс СТВ. Сделаны выводы об эффективности применения вспучивающихся покрытий для защиты бетонных конструкций и применении расчетно-экспериментального метода.

От пожара под действием высокой температуры снижается прочность железобетонных конструкций, иногда происходит и их разрушение, поэтому обеспечение требуемого предела огнестойкости железобетонной конструкции является одной из важных задач [1]. В нашей стране и за рубежом широко используют разные методы защиты таких конструкций от пожара. Но особое положение среди этих методов занимает использование вспучивающихся огнезащитных покрытий (ВОП), которые наносятся на защищаемые поверхности как краска кистью или пульверизатором, имеют толщину не более 1,5-2 мм и при нагреве выше определенной температуры увеличивают свою толщину за счет вспучивания, что обеспечивает его огнезащитные свойства [2].

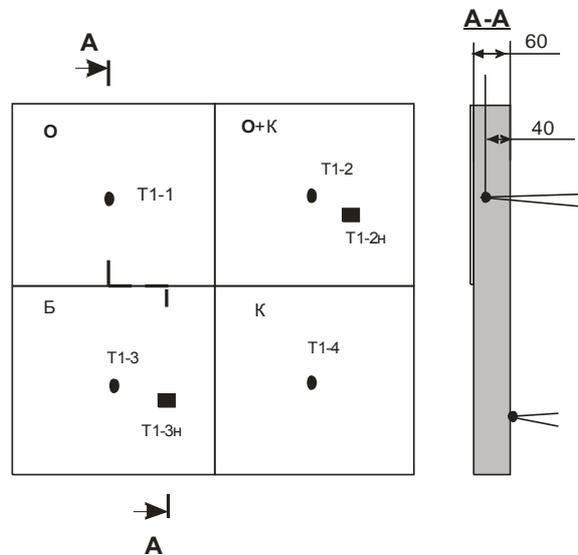
Поэтому, **целью** данной статьи было определение огнезащитной способности ВОП, нанесенного на железобетонную плиту, при режиме, близком к стандартному температурному режиму.

Для этого случая под огнезащитной способностью вспучивающегося покрытия для железобетонных плит принята зависимость минимальной толщины огнезащитного покрытия от толщины бетонной плиты, при которой обеспечивается требуемый предел огнестойкости железобетонной конструкции. Согласно [1,3] предельным состоянием бетонной плиты принимается потеря теплоизолирующей способности этой плиты - превышение температуры на необогреваемой стороне плиты над начальной в среднем более, чем на 140 °С. Такой критерий потери огнестойкости железобетонной плиты можно принимать для тонких железобетонных конструкций (перегородки, складки и др.).

Для определения огнезащитной способности ВОП Феникс СТВ, производства фирмы «А+В Украина», нанесенного на железобетонную плиту, при режиме, близком к стандартному температурному режиму, было спланировано и проведено серию огневых испытаний железобетонных (бетонных) плит толщиной 60 мм.

**Испытаниям поддавались два образца бетонных плит, размерами 600х600х60 (рис.1).**

На обогреваемой стороне образца № 1 перед испытаниями было нанесено огнезащитное покрытие Феникс СТВ, толщиной 1,5 мм (одна четверть образца, обозначенная буквой О), огнезащитное покрытие Феникс СТВ, толщиной 1,5 мм по грунтовке Феникс Контакт (одна четверть образца, обозначенная буквами О+К), грунтовка Феникс Контакт без покрытия (одна четверть образца, обозначенная буквой К), а на одну четверть грунтовка и покрытие не наносились.

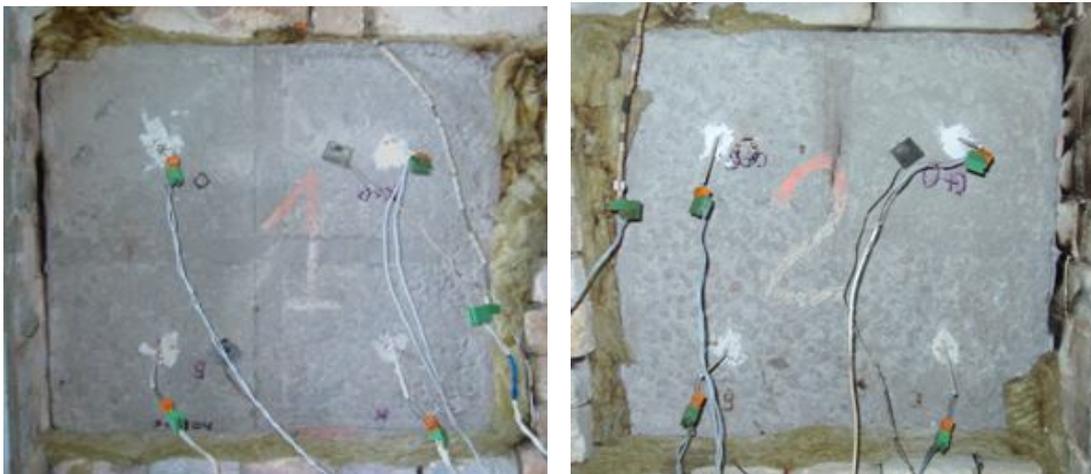


**Рис. 1.** Схема расположения термопар на образцах:

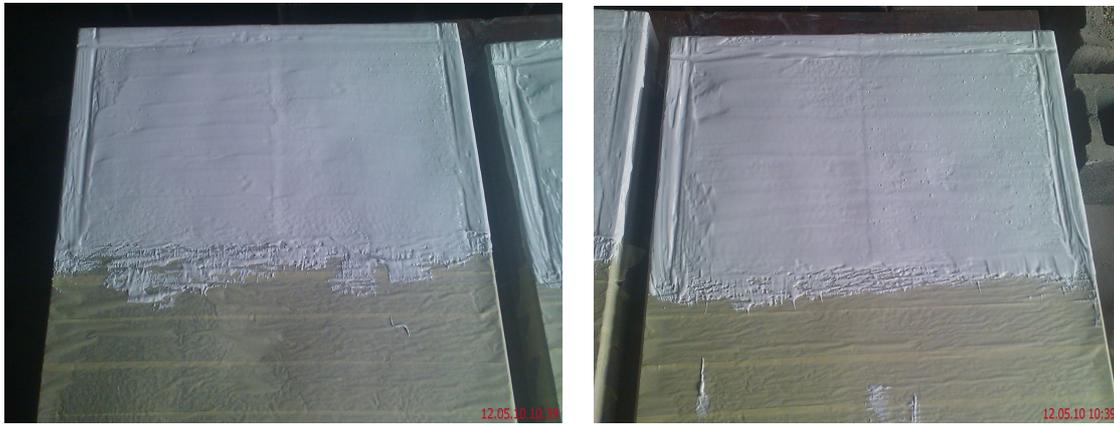
*О* – огнезащитное покрытие; *К* – грунтовка; *Б* – бетон.

На обогреваемой стороне образца № 2 перед испытаниями было нанесено огнезащитное покрытие Феникс СТВ, толщиной 1,5 мм (одна четверть образца, обозначенная буквой О), огнезащитное покрытие Феникс СТВ, толщиной 1,5 мм по грунтовке из жидкого стекла (одна четверть образца, обозначенная буквами О+С), грунтовка из жидкого стекла без покрытия (одна четверть образца, обозначенная буквой С), а на одну четверть грунтовка и покрытие не наносились.

Каждый образец препарировался термопарами хромель-алюмелевыми (ТХА) по центру четвертей на глубине 20 мм от обогреваемой поверхности (ожидаемое место расположения несущей арматуры в железобетонных конструкциях). Дополнительно на каждом образце с необогреваемой поверхности устанавливались по две термопары ТХА на четвертях с покрытием и грунтовкой и без грунтовки и покрытия (рис. 2,3).



**Рис. 2.** Вид образцов № 1 та № 2 перед огневыми испытаниями с необогреваемой стороны



**Рис. 3.** Вид образцов № 1 та № 2 перед огневыми испытаниями с обогреваемой стороны.

Образцы устанавливались вертикально в отверстиях огневой печи.

Испытания проводились при температуре воздуха 25<sup>0</sup>С и относительной влажности 65 %.

Для испытаний использовалась специальная печь (аттестат № 24-2/0330, действующий до 02.2011 г.) и средства измерительной техники, приведенные в таблице 1.

**Таблица 1**

*Средства измерительной техники*

№ п/п	Наименование оборудования или прибора	Заводской номер	Диапазон измерения	Погрешность в измерении	Дата следующей поверки
1	Линейка металлическая	-	от 0 до 1000 мм	± 1 мм	1 кв.2011 г.
2	Секундомер СОС пр2б-2-010	8825	от 0 до 60 с, от 0 до 60 мин.	± 0,4 с ± 1 с	02.2011 г.
3	Прибор контроля избыточного давления в печи ТНЖ-Н.	24723	от 0 до 100 Па	Кл. 1,5	1 кв.2011 г.
4	Термопары ТХА, 12 единиц	-	от 0 до 334 °С от 334 до 1350 °С	± 2,5 °С ±0,0075×Т <sub>изм.</sub> , °С	02.2011 г.
5	Психрометр аспирационный МВ- 4М	18358	от 10 до 100 % от -10 до 50 °С	± 3 % ± 0,2 °С	1 кв.2011 г.
6	Штангенциркуль ШЦ-II	5205755	от 0 до 250 мм	Ц.д. 0,05 мм	02.2011 г.
7	Измерительно-регистрирующий комплекс "TEST-SERT"	1	от 0 до 1250 °С	±(0,5+0,0009Т) °С	02.2011 г.

Испытания образцов проводились в условиях, близких к стандартному температурному режиму на протяжении 122 минут.

После испытаний при визуальном осмотре образцов установлено следующее (рис. 4):

1. В четверти 1 образца (а), обработанной огнезащитным покрытием Феникс СТВ, наблюдается хорошая вспучиваемость покрытия, отслоение его от образца по площади составило примерно 45%.

2. В четверти 1 образца (б), обработанной огнезащитным покрытием Феникс СТВ, наблюдается хорошая вспучиваемость покрытия, отслоение его от образца по площади составило примерно 15%.

3. В четверти 2 образца (а), обработанной огнезащитным покрытием Феникс СТВ с грунтовкой Феникс Контакт, хорошая вспучиваемость покрытия, отслоение его от образца по площади не наблюдалось.

4. В четверти 2 образца (б), обработанной огнезащитным покрытием Феникс СТВ с грунтовкой из жидкого стекла, хорошая вспучиваемость покрытия, отслоение его от образца по площади не наблюдалось.

5. Четверти 3 и 4 обоих образцов после огневого воздействия остались без видимых изменений.

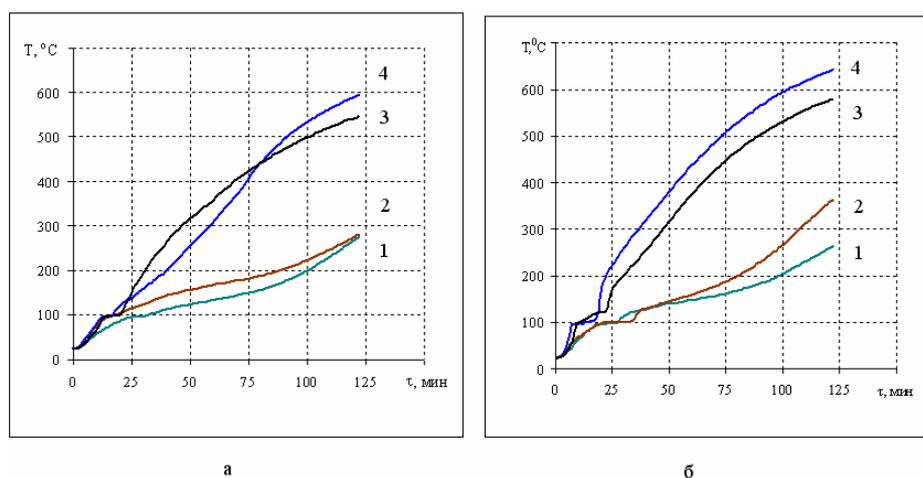


**Рис. 4.** Вид образцов № 1 та № 2 после испытаний с обогреваемой стороны:

- 1 – четверть образца, обработанная огнезащитным покрытием Феникс СТВ;  
 2 – четверть образца, обработанная огнезащитным покрытием Феникс СТВ с грунтовкой Феникс Контакт (а) и грунтовкой из жидкого стекла (б); 3 – четверть образца, которая не обрабатывалась огнезащитным покрытием Феникс СТВ и грунтовкой;  
 4 – четверть образца, обработанная грунтовкой Феникс Контакт (а) и грунтовкой из жидкого стекла (б).

На рис. 5 предоставлены графики изменения температуры от времени огневого воздействия в четвертях обогреваемой поверхности на глубине 20 мм.

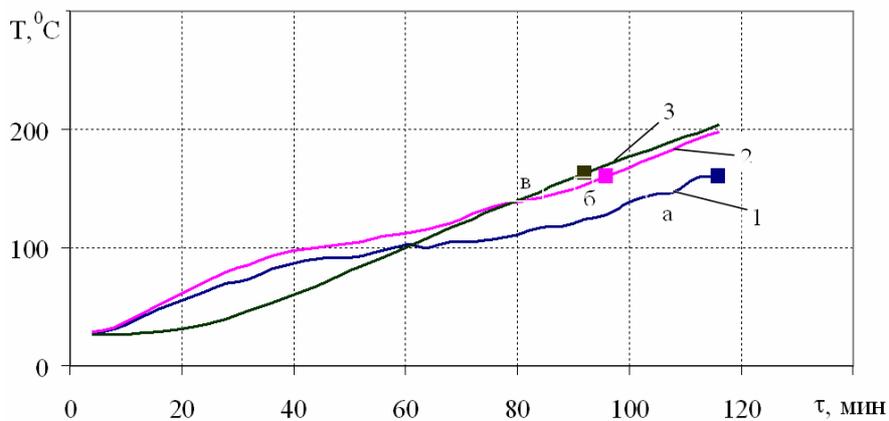
Как видно из рис. 5, температура прогрева бетонной конструкции с огнезащитным покрытием Феникс СТВ с грунтовкой Феникс Контакт (а) и грунтовкой из жидкого стекла (б) в точке ожидаемого расположения несущей арматуры железобетонных конструкций не превышает  $365^{\circ}\text{C}$ , что удовлетворяет требованиям [3] по признаку потери несущей способности (R) конструкций ( $500^{\circ}\text{C}$ ).



**Рис. 5.** Графики изменения температуры от времени огневого воздействия в четвертях обогреваемой поверхности на глубине 20 мм:

- 1 – четверть образца, обработанная огнезащитным покрытием Феникс СТВ; 2 – четверть образца, обработанная огнезащитным покрытием Феникс СТВ с грунтовкой Феникс Контакт (а) и грунтовкой из жидкого стекла (б); 3 – четверть образца, которая не обрабатывалась огнезащитным покрытием Феникс СТВ и грунтовкой; 4 – четверть образца, обработанная грунтовкой Феникс Контакт (а) и грунтовкой из жидкого стекла (б)

Графики изменения температуры от времени огневого воздействия в четвертях необогреваемой поверхности образцов бетонных плит, размерами 600х600х60 мм представлены на рис. 6.

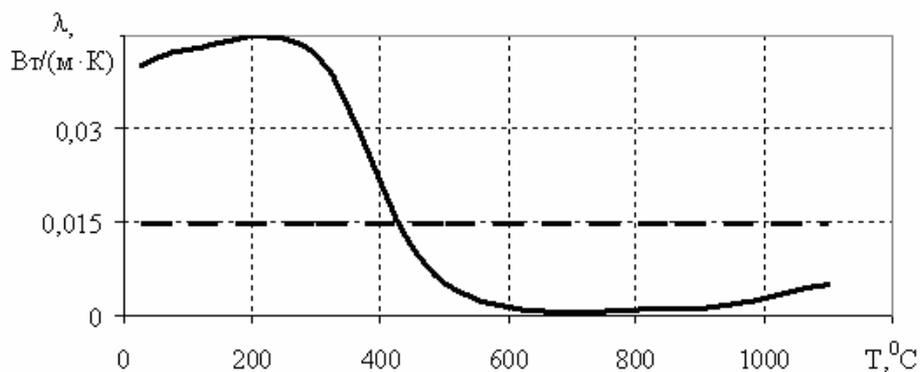


**Рис. 6.** Графики изменения температуры от времени огневого воздействия в четвертях необогреваемой поверхности образцов:

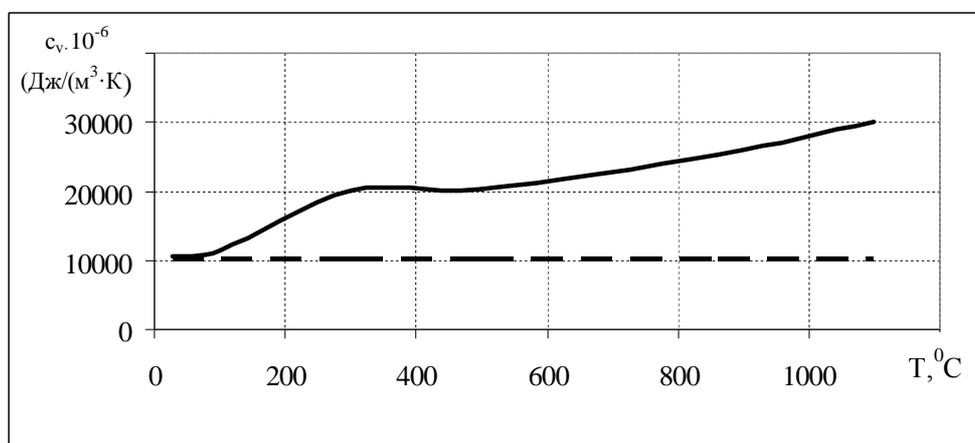
- 1 – четверть образца, обработанная огнезащитным покрытием Феникс СТВ с грунтовкой Феникс Контакт;
- 2 – четверть образца, обработанная огнезащитным покрытием Феникс СТВ с грунтовкой из жидкого стекла;
- 3 – четверть образца, обработанная огнезащитным покрытием Феникс СТВ за данными вычислительного эксперимента

При достижении предельного состояния по признаку потери теплоизолирующей способности с необогреваемой стороны образца в точках *а*, *б* и *в* на рис. 6 наблюдается удовлетворительное их совпадение. При этом, при проведении натуральных испытаний в точке *а* погрешность составляет 4,4%, а в точке *б* 13,6% соответственно, относительно результата (точки *в*), полученного при проведении вычислительного эксперимента, что вполне допустимо для проведения инженерных расчетов.

Используя температуры, полученные в результате испытаний, решением серии обратных задач теплопроводности (ОЗТ) были получены теплофизические характеристики ВОП Феникс СТВ, которые представлены на рис. 7,8. Методика определения теплофизических характеристик огнезащитных покрытий по данным испытания образцов в огневых печах приведена в [2,4,5].



**Рис. 7.** Зависимость эффективного коэффициента теплопроводности всучивающегося огнезащитного покрытия Феникс СТВ от температуры (сплошная кривая) и константа (пунктирная кривая), найденные решением обратных задач теплопроводности



**Рис. 8.** Зависимость удельной объемной теплоемкости вспучивающегося огнезащитного покрытия Феникс СТВ от температуры (сплошная кривая) и константа (пунктирная кривая), найденные решением обратных задач теплопроводности.

**Таблица 2**

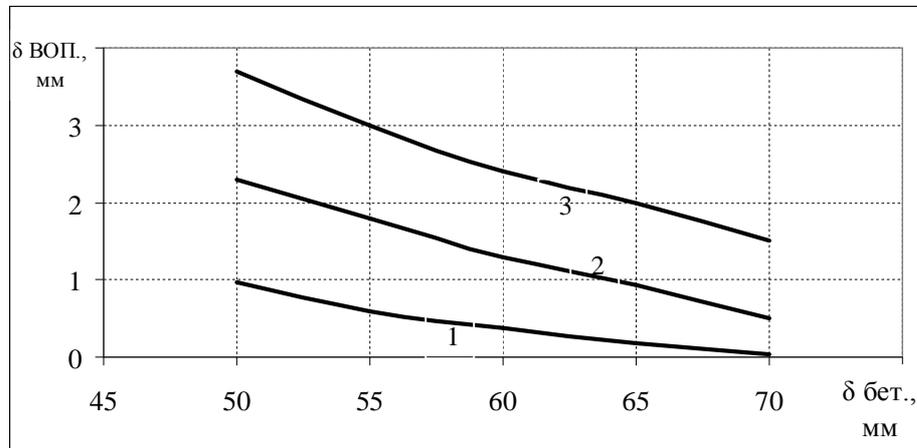
Значение эффективного коэффициента теплопроводности и удельной объемной теплоемкости, найденных решением обратных задач теплопроводности

Вар. №	$\lambda, \text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$	$C \cdot \rho, \text{Дж}/(\text{м}^3 \cdot \text{К})$	$\phi, \text{С}$	Примечание
1	0.0147	10000	23,82	<b>константа</b> , полученная решением ОЗТ для ВОП Феникс СТВ по экспериментальным данным
2	см. рис. 7	см. рис. 8	19,52	<b>функции</b> , полученные решением ОЗТ для ВОП Феникс СТВ по экспериментальным данным

На основе проведенного эксперимента и выбора физической и математической моделей была разработана методика определения характеристики огнезащитной способности вспучивающихся огнезащитных покрытий расчетно-экспериментальным методом [5], которая состоит из следующих этапов:

1. Выбор физической и математической моделей теплового состояния испытуемых образцов.
2. Проведение испытаний (экспериментов), сводящихся к измерениям температур на образцах и огневой печи.
3. Идентификация по данным эксперимента теплофизических характеристик модели на основе решения обратных задач.
4. Использование теплофизических характеристик и модели для определения характеристик огнезащитной способности вспучивающихся огнезащитных покрытий для защиты железобетонных конструкций по данным огневых испытаний.

С помощью описанных выше этапов применения расчетно-экспериментального метода, были получены зависимости характеристики огнезащитной способности (ХОС) ВОП Феникс СТВ, для разных пределов огнестойкости, которые представлены на рис. 9.



**Рис. 9.** Характеристика огнезащитной способности вспучивающегося огнезащитного покрытия «Феникс СТВ» по данным огневых испытаний:  
1 – 60 мин; 2 – 90 мин; 3 – 120 мин.

Как видно из рис. 9, для предела огнестойкости бетонной плиты в 120 мин, толщина ВОП при значениях толщин бетона 50-60 мм превышает 2 мм. В этом случае может происходить плохое вспучивание покрытия из-за большой толщины ВОП, плохая адгезия к защищаемой поверхности, а вследствие этого невыполнение защитной функции.

#### **Выводы**

1. Приведены результаты огневых испытаний бетонных плит, покрытых с одной стороны вспучивающимся огнезащитным покрытием Феникс СТВ производства фирмы «А+В Украина».
2. По результатам огневых испытаний бетонных плит найдены зависимости от температур эффективных коэффициентов теплопроводности и удельной объемной теплоемкости ВОП Феникс СТВ, при условии нагрева бетонных плит с покрытием в огневой печи при температурном режиме, близком к стандартному.
3. Изложена методика определения теплопроводности, теплоемкости и характеристики огнезащитной способности покрытия расчетно-экспериментальным методом.
4. Получена характеристика огнезащитной способности вспучивающегося огнезащитного покрытия Феникс СТВ.
5. Показано, что при условии нанесения на бетонную плиту, толщиной 60 мм огнезащитного покрытия Феникс СТВ толщиной 1,5 мм предварительно по грунтовому основанию, степень огнестойкости увеличилась с EI 45 до EI 120, а по потере несущей способности (R) увеличилась в два раза.

#### **Список литературы:**

1. Милованов А.Ф. Стойкость железобетонных конструкций при пожаре / М.: Стройиздат, 1998. – 304 с.: ил. – ISBN 5-274-01695-2.
2. Круковский П. Определение теплофизических характеристик вспучивающегося огнезащитного покрытия по данным огневых испытаний / Павел Круковский, Сергей Цвиркун // Науковий вісник УкрНДІПБ. – 2005. – № 1 (11). – С. 5–13.
3. Захист від пожежі. Будівельні конструкції. Методи випробування на вогнестійкість. Загальні вимоги (ISO 834:1975): ДСТУ Б В.1.1-4-98. – [Чинний від 1998-10-28]. – К.: Укрархбудинформ, 1999. – 21 с. – (Державний стандарт України).
4. Эффективность вспучивающихся огнезащитных покрытий железобетонных конструкций при различных режимах пожара / П.Г. Круковский, Е.В. Качкар, А.И. Ковалев [и др.] // Науковий вісник УкрНДІПБ. – 2010. – №21. – С. 75-83
5. Круковский П.Г. Обратные задачи тепломассопереноса (общий инженерный подход) / Павел Григорьевич Круковский. – К., Ин-т технической теплофизики НАН Украины, 1998. – 224 с.

*А.І. Ковальов (Академія пожежної безпеки ім. Героїв Чорнобиля МНС України), П.Г. Круковський, д-р техн. наук, професор (Інститут технічної теплофізики НАН України), Є.В. Качкар, канд. техн. наук (Академія пожежної безпеки ім. Героїв Чорнобиля МНС України), А.А. Абрамов (Випробувальний центр ТОВ «Тест»)*

### **ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВОГНЕЗАХИСНОЇ ЗДАТНОСТІ ПОКРИТТЯ, ЩО СПУЧУЄТЬСЯ НА БЕТОННІЙ ПЛИТІ**

Наведені результати вогневих випробувань бетонних плит, оброблених з однієї сторони вогнезахисним покриттям, що спучується, Фенікс СТВ. Коротко викладена методика визначення теплопровідності, теплоємності і характеристики вогнезахисної здатності розрахунково-експериментальним методом. Отримана характеристика вогнезахисної здатності вогнезахисного покриття, що спучується, Фенікс СТВ. Зроблені висновки про ефективність застосування покриттів, що спучуються для захисту бетонних конструкцій і застосування розрахунково-експериментального методу.

*A.I. Kovalyov (Academy of Fire Safety named after Chernobyl Heroes), P.H. Krukovskiy, Doctor of Sciences (Engineering), Professor (Institute of Technical Thermal Physics of NAS of Ukraine), Ye. V. Kachkar, Candidate of Sciences (Engineering) (Academy of Fire Safety named after Chernobyl Heroes), A.A. Abramov (Probationary Center of Limited Liability Company "Test")*

### **EXPERIMENTAL STUDIES OF FIRE PROOF OF INTUMESCENT FIRE PROTECTIVE COATINGS FOR CONCRETE PLATES**

Results of fire tests of concrete plates covered with one hand swelling fire protective coatings Phoenix PTS were done. The method of determining the thermal conductivity, heat capacity and the characteristics of flame retardant ability for cover cash-experimental method was summarized. The characteristics of flame retardant ability of intumescent fire protection coating Phoenix PTS were received. The conclusions about the effectiveness of swelling coatings for protective concrete structures and application of computational and experimental methods were drawn

