

УДК 614.841.332

П.Г. Круковский, д.т.н., проф., Институт технической теплофизики НАН Украины,
А.И. Ковалев, к.т.н., Е.В. Качкар, к.т.н.,
Академия пожарной безопасности имени Героев Чернобыля

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ВСПУЧИВАЮЩЕГОСЯ ОГНЕЗАЩИТНОГО ПОКРЫТИЯ «ФЕНИКС СТВ» ПО ДАННЫМ ИСПЫТАНИЙ НА ОГНЕСТОЙКОСТЬ МОНОЛИТНОГО ПЕРЕКРЫТИЯ

Определены теплофизические характеристики и характеристика огнезащитной способности вспучивающегося огнезащитного покрытия «Феникс СТВ» производства ООО «ПТК «А+В Украина» по данным измерения температур на необогреваемой поверхности монолитного бетонного перекрытия в процессе его испытания на огнестойкость. Показано влияние теплофизических характеристик бетона и огнезащитного покрытия на огнестойкость монолитных перекрытий.

Ключевые слова: вспучивающееся огнезащитное покрытие, характеристика огнезащитной способности покрытия, теплофизические характеристики, огнестойкость монолитных перекрытий.

Постановка задачи. Как известно [1], огнестойкость строительных конструкций, в частности монолитных железобетонных перекрытий, зависит от теплофизических характеристик (ТФХ) бетона, огнезащитных составов, которые наносятся тонким слоем на защищаемую поверхность для повышения огнестойкости монолитных бетонных (железобетонных) перекрытий за счет создания трудногорючего теплоизоляционного слоя на поверхности. Важной характеристикой покрытия есть характеристика огнезащитной способности (ХОС) покрытия, которая определяется как зависимость минимальной толщины огнезащитного покрытия от толщины защитного слоя бетона в перекрытии, при которой обеспечивается требуемый предел огнестойкости железобетонного перекрытия [2]. Поэтому определение и использование этих характеристик для анализа огнестойкости железобетонных строительных конструкций является важной научно-технической задачей и целью настоящей работы.

Анализ последних достижений и публикаций. ТФХ огнезащитных покрытий, как правило, не известны, и если использовать приближенные постоянные значения коэффициента теплопроводности и удельной объемной теплоемкости, то можно получить одни значения предела огнестойкости, если использовать значения, найденные из результатов испытаний и зависящие от температуры – другие, более точно описывающие процессы, происходящие в исследуемых перекрытиях.

ТФХ бетона монолитного перекрытия также влияют на огнестойкость всей конструкции. Эти ТФХ бетона при проектировании огнезащиты конструкций можно задавать из [4] (рис. 1, кривые 1,2). Но более точно будет, если ТФХ бетона определять по результатам испытаний на огнестойкость данной конструкции без покрытия при стандартном температурном режиме, что и было сделано (рис. 3,4 кривая 2).

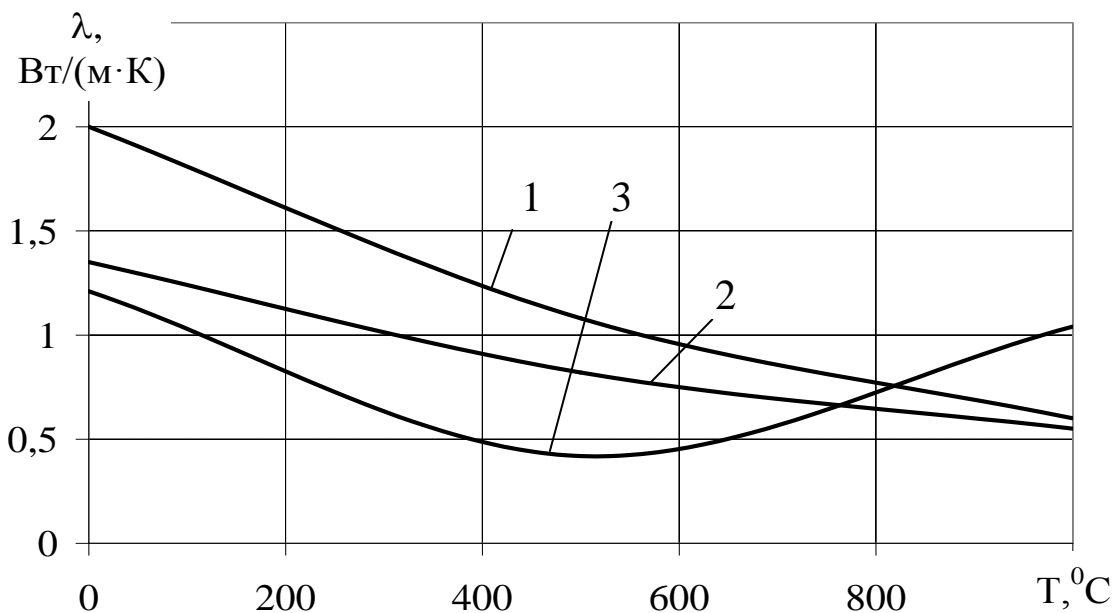


Рисунок 1 – Зависимости эффективных коэффициентов теплопроводности бетона от температуры, где: 1 – верхняя граница значений из Еврокода, 2 – нижняя граница значений из Еврокода, 3 – коэффициенты, полученные в результате решения ОЗТ по данным испытаний на огнестойкость.

Изложение основного материала исследования. Для определения характеристики огнезащитной способности вспучивающегося огнезащитного покрытия «Феникс СТВ», производства ООО «ПТК «А+В Украина»», нанесенного на монолитное перекрытие, было осуществлено планирование и проведено серию испытаний на огнестойкость монолитных перекрытий толщиной 60 мм.

Испытания проводились с двумя образцами монолитных бетонных перекрытий, размерами 600 × 600 × 60. На обогреваемой поверхности образца перед испытаниями были нанесены огнезащитный состав «Феникс СТВ» толщиной 1,5 мм (одна четверть образца, обозначенная буквой О), огнезащитный состав «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 огнезащитный состав не наносились (рис. 2).

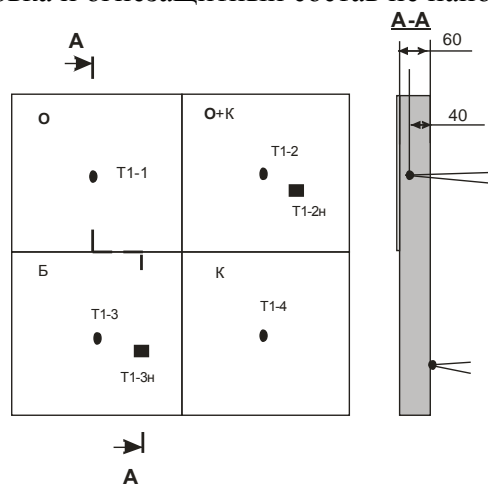


Рисунок 2 – Схема расположения термодар на образцах, где: О – огнезащитное покрытие; К – грунтовка; Б – бетон.

Образцы перед испытаниями были тщательно очищены от грязи с помощью

пескоструйной установки и окрашены антикоррозийной грунтовкой.

Огнезащитный состав наносился методом безвоздушного распыления агрегатом высокого давления поршневого типа производства «Wagner». Сушка плит проводилась на протяжении 30 дней.

Каждый образец препарировался хромель-алюмелевыми (ТХА) термопарами, расположенными 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.

Образцы устанавливались вертикально в отверстиях огневой печи для одностороннего нагрева.

Испытания проводились при температуре воздуха 25 °С и относительной влажности 65%. Испытания образцов проводились при стандартном температурном режиме на протяжении 120 мин.

Температуры с необогреваемой поверхности монолитных перекрытий, полученные в результате испытаний на огнестойкость, были использованы для нахождения ТФХ бетона, огнезащитных покрытий и определения ХОС покрытий. На рис. 3, 4 показаны ТФХ бетона, найденные решением обратных задач теплопроводности (ОЗТ) по результатам испытаний на огнестойкость этих монолитных перекрытий с помощью программы FRIEND [3]. При этом среднеквадратичное отклонения расчетных температур от экспериментальных составило 8,5 °С.

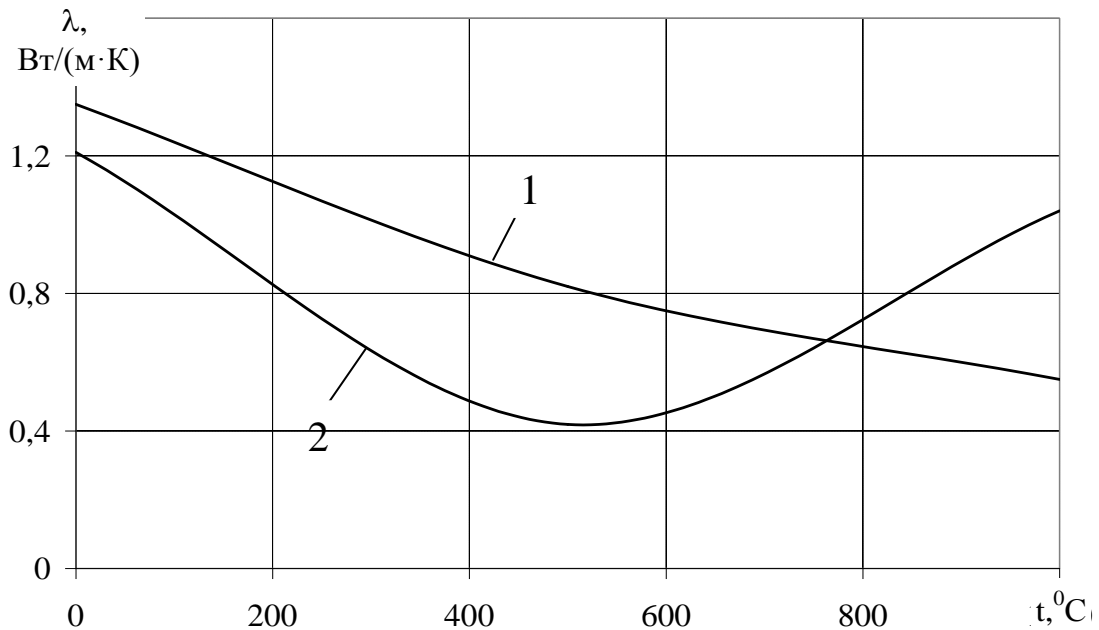


Рисунок 3 – Зависимость коэффициента теплопроводности бетона от температуры, где: 1 – коэффициенты из Еврокода [4]; 2 – коэффициенты, полученные в результате решения ОЗТ по данным испытаний на огнестойкость.

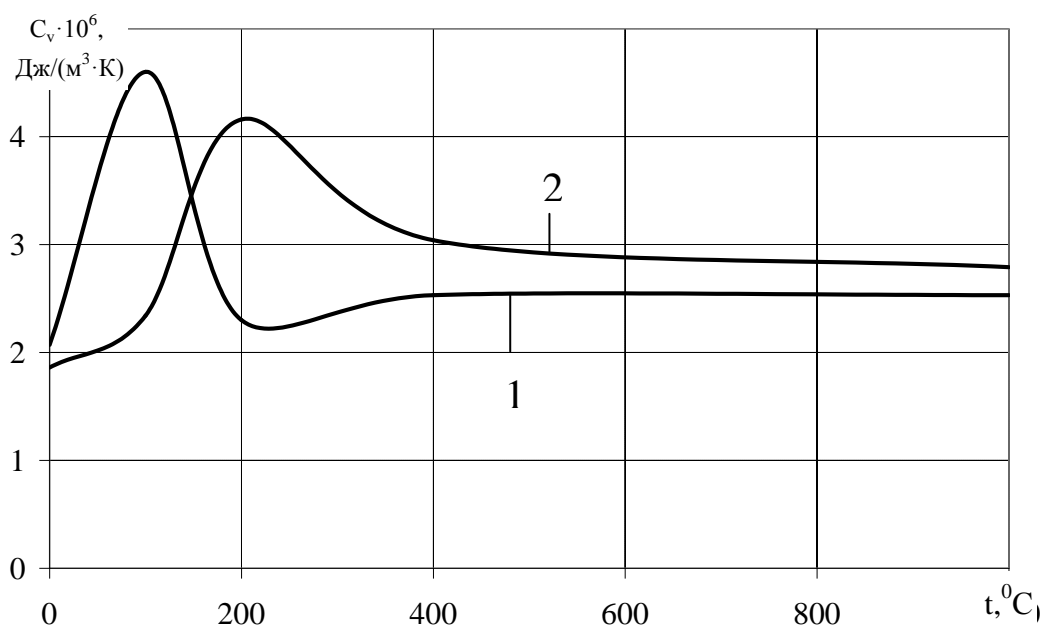


Рисунок 4 – Зависимость удельной объемной теплоемкости бетона от температуры, где: 1 – коэффициенты из Еврокода [4]; 2 – коэффициенты, полученные в результате решения ОЗТ по данным испытаний на огнестойкость.

Как видно из рис. 3, 4, ТФХ бетона отличаются от коэффициентов, взятых из [4], что может объясняться наличием в испытуемых монолитных перекрытиях пластификаторов, а также других добавок, которые существенно обуславливают характеристики бетона. При этом отклонение расчетных температур от экспериментальных незначительное и характер кривых практически совпадает (рис. 5).

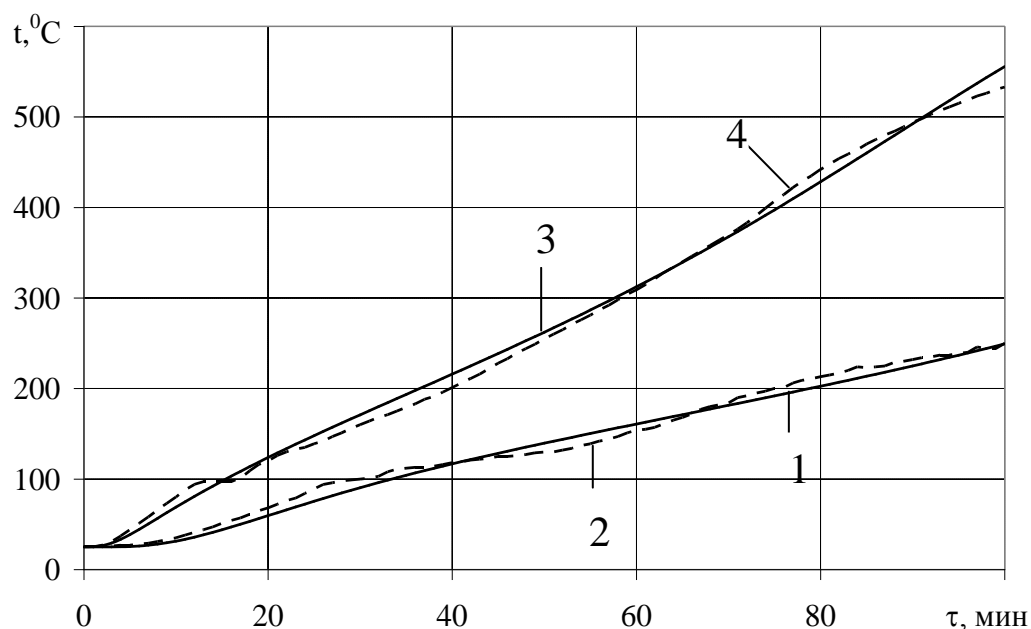


Рисунок 5 – Зависимость температуры от времени в местах измерения температур для образца монолитного перекрытия без покрытия, где 1 – точная кривая на необогреваемой поверхности; 2 – расчетная кривая там же; 3 – точная кривая на глубине 20 мм от обогреваемой поверхности; 4 – расчетная кривая там же.

По результатам испытаний на огнестойкость двух одинаковых образцов

монолитных бетонных ограждающих перекрытий, размерами $600 \times 600 \times 60$ мм, с нанесенным на них вспучивающимся огнезащитным составом «Феникс СТВ», производства ООО «ПТК «А + В Украина» толщиной 1,5 мм, используя разработанную математическую модель теплового состояния монолитного перекрытия (рис. 6), была предложена следующая методика определения ХОС покрытий:

1. Выбрать одномерную двухслойную математическую модель теплового состояния плиты перекрытия (рис. 6).

Такая модель теплового состояния перекрытия позволяет по данным испытаний на огнестойкость определить ТФХ и ХОС огнезащитного покрытия (например, с помощью программ FRIEND).

2. Использовать метод решения ОЗТ для расчета необходимых параметров модели по данным испытаний на огнестойкость.

3. С помощью однослойной математической модели и метода решения ОЗТ определить ТФХ бетона перекрытия, используя данные (температуру на необогреваемой поверхности) испытаний на огнестойкость монолитного перекрытия без покрытия.

4. С помощью двухслойной математической модели, решением ОЗТ по данным испытаний с покрытием (измерения температуры на необогреваемой поверхности) определить ТФХ исследуемого огнезащитного покрытия.

5. Решением серии прямых задач теплопроводности (ПЗТ) определить зависимость толщины огнезащитного покрытия от толщины бетонного перекрытия для предельного состояния конструкции по признаку потери теплоизолирующей способности (140°C + температура окружающего воздуха).

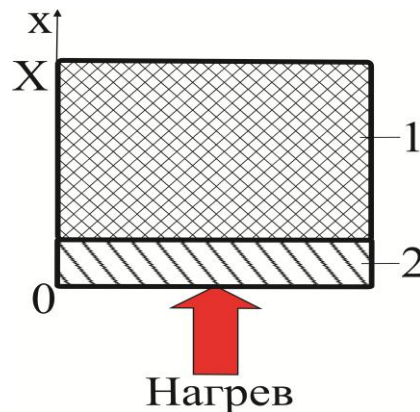


Рисунок 6 – Схема исследуемого монолитного перекрытия: 1 – слой перекрытия; 2 – слой огнезащитного покрытия.

Разработанная методика была применена для получения ТФХ и ХОС покрытия по результатам испытаний на огнестойкость.

Согласно п. 2,4 методики [2], решением ОЗТ были получены теплопроводность огнезащитного покрытия (приведенная к начальной толщине 1,5 мм), представленная на рис. 7, а также постоянная удельная объемная теплоемкость, равная $1,49 \cdot 10^5 \text{ Дж/м}^3 \cdot \text{К}$.

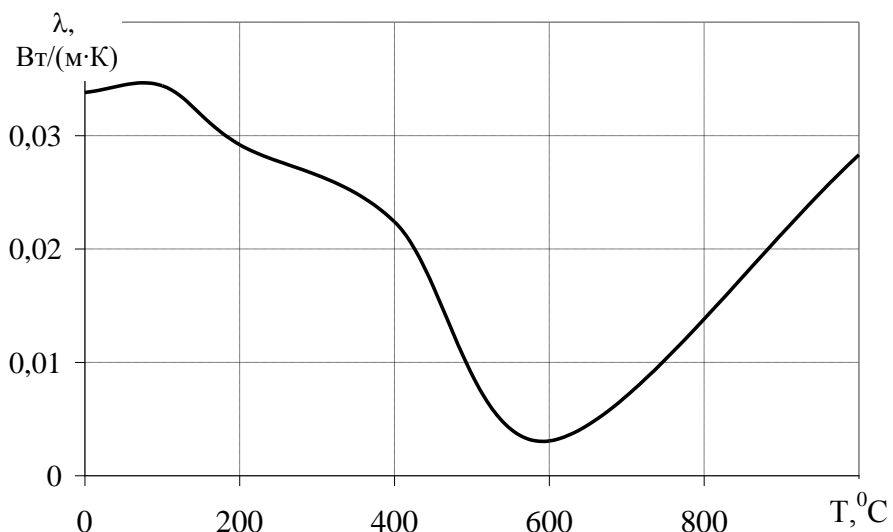


Рисунок 7 – Зависимость коэффициента теплопроводности покрытия «Феникс СТВ» от температуры, полученная решением ОЗТ по результатам испытаний на огнестойкость.

Падение кривой коэффициента теплопроводности от начальной температуры к 600 °С объясняется вспучиванием покрытия «Феникс СТВ» в заданном диапазоне температур, а последующий рост кривой – выгоранием слоя покрытия. При этом среднеквадратичное отклонение экспериментальных от расчетных температур составило 7,7 °С (рис. 8).

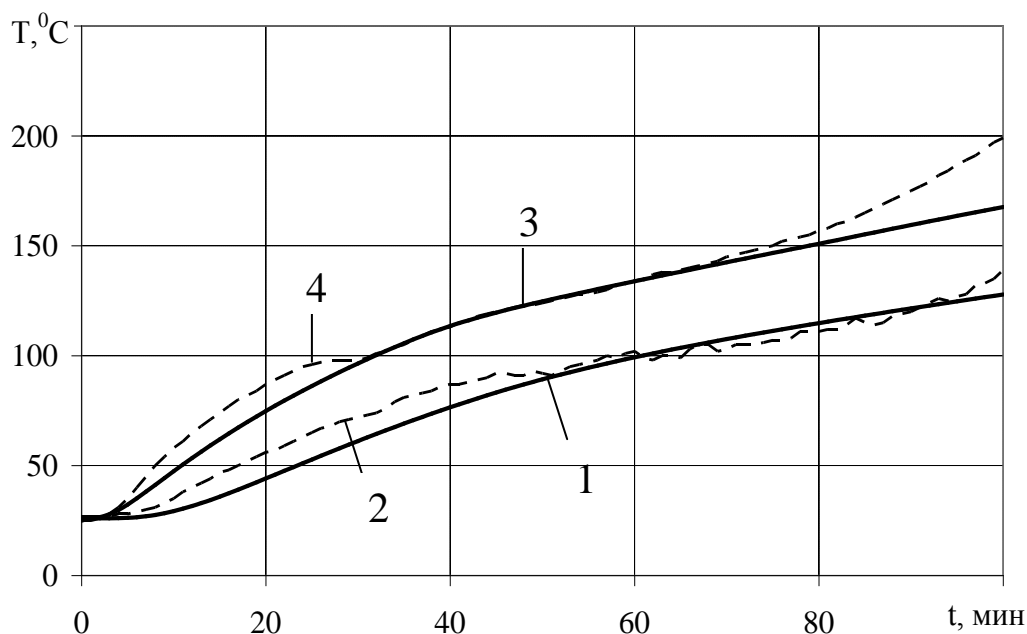


Рисунок 8 – Зависимость температуры от времени в местах измерения температур для образца монолитного перекрытия с покрытием, где: 1 – точная кривая на необогреваемой поверхности, 2 – расчетная кривая там же; 3 – точная кривая на глубине 20 мм от обогреваемой поверхности; 4 – расчетная кривая там же.

Полученные ТФХ бетона и покрытия использовались для нахождения ХОС покрытия «Феникс СТВ», что являлось конечным этапом работы. Определение ТФХ бетона и покрытия одновременно решением ОЗТ не дает возможность найти их корректно.

Используя п. 5 методики [2], решением серии ПЗТ получена зависимость толщины огнезащитного покрытия «Феникс СТВ» от толщины монолитного перекрытия для разных пределов огнестойкости в диапазоне толщин 50-70 мм (рис. 9).

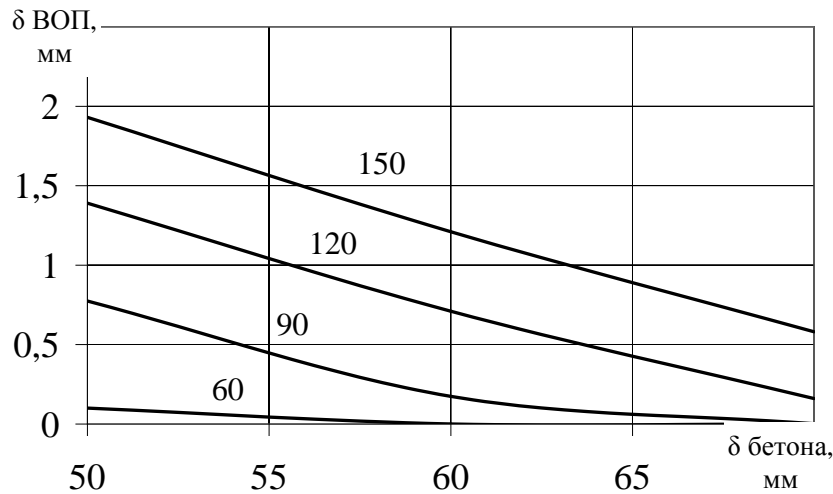


Рисунок 9 – Зависимость толщины огнезащитного покрытия «Феникс СТВ» от толщины монолитного перекрытия, полученная по данным испытаний на огнестойкость для разных пределов огнестойкости.

Как видно из рис. 9 и известно из практики, ХОС вспучивающегося огнезащитного покрытия «Феникс СТВ» имеет ограничение по толщине в 2 мм, так как применение вспучивающихся покрытий толщиной свыше 2 мм является нецелесообразным и приводит к неоднородности вспучивающегося защитного слоя, снижению его прочности и разложению.

Полученная характеристика огнезащитной способности вспучивающегося огнезащитного покрытия «Феникс СТВ» (рис. 9) имеет практическое значение. Так, в рамках подготовки Украины к проведению Чемпионата Европы по футболу в 2012 году особо актуальным являлся вопрос обеспечения требуемого предела огнестойкости железобетонных конструкций НСК «Олимпийский» в г. Киеве, в частности защиты так называемых складок 2-го яруса стадиона при огневом воздействии на них снизу [5, 6]. Вид трибуны 2-го яруса стадиона со стороны игрового поля и обратной стороны, а также детальная схема взаимного расположения складок на балке 2-го яруса НСК «Олимпийский» приведены на рис. 10.

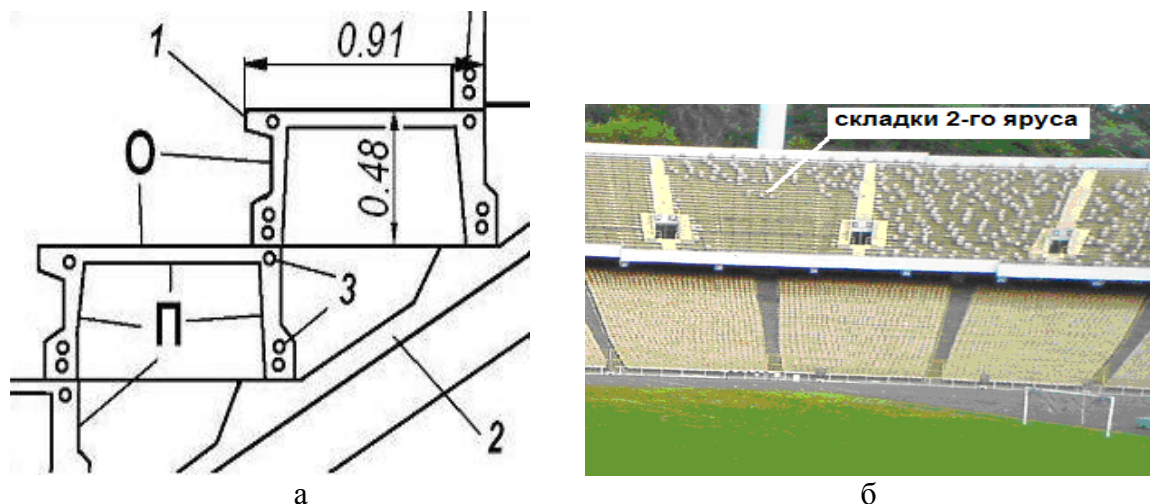


Рисунок 10 – Схема расположения складок на балке 2-го яруса трибуны НСК «Олимпийский» (а) и вид трибуны 2-го яруса стадиона со стороны игрового поля (б). На рис. а: 1 – складка; 2 – балка; 3 – арматура складки, П – поверхности складок, нагреваемые при пожаре; О – поверхности складок, охлаждаемые окружающим воздухом.

На рис. 11 показано распределение температур в поперечном сечении складки после 24-х мин. пожара. В качестве критерия с огнестойкости складки был выбран критерий по признаку потери теплоизолирующей способности. При таких условиях без огнезащитного покрытия температура 160 °С на необогреваемой верхней поверхности складки достигается через 24 мин. Применение вспучивающегося огнезащитного покрытия «Феникс СТВ» на основе полученной характеристики огнезащитной способности этого покрытия показывает, что толщины покрытия 0,5 мм, нанесенного на нижнюю поверхность складок, было бы достаточно для обеспечения требуемого предела огнестойкости складок в 45 мин.

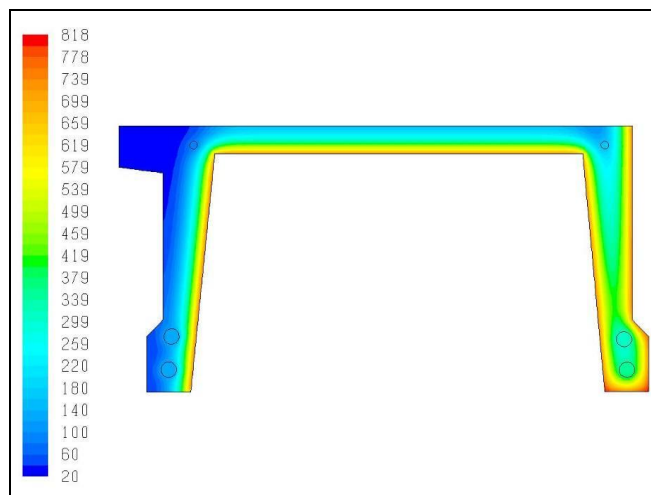


Рисунок 11 – Распределение температур в поперечном сечении складки после 24-х минут пожара.

Выводы.

1. Разработана методика определения характеристики огнезащитной способности покрытий железобетонных перекрытий, с помощью которой определены теплофизические характеристики и характеристика огнезащитной способности покрытия «Феникс СТВ», производства ПТК «А+В Украина».

2. С помощью разработанной методики определена минимально необходимая толщина вспучивающегося покрытия «Феникс СТВ» для обеспечения требуемого предела огнестойкости монолитного железобетонного перекрытия, покрытого этим огнезащитным составом для пределов огнестойкости 60-150 минут.

3. Полученная характеристика огнезащитной способности применена при определении минимально необходимой толщины покрытия «Феникс СТВ» для обеспечения требуемого предела огнестойкости складки НСК «Олимпийский».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Милованов А. Ф. Стойкость железобетонных конструкций при пожаре / Анатолий Федорович Милованов. – М. : Стройиздат, 1998. – 304 с.

2. Ковалев А.И. Усовершенствование метода оценки огнезащитной способности покрытий железобетонных перекрытий: дисс. ... кандидата техн. наук : 21.06.02 / Ковалев Андрей Иванович. – К., 2012. – 163 с.

3. Круковский П. Г. Обратные задачи тепломассопереноса (общий инженерный подход) / Павел Григорьевич Круковский. – Киев : Институт технической теплофизики НАН Украины, 1998. – 218 с.

4. EN 1992-1-2: 2004 Eurocode 2 : Design of concrete structures – Part 1–2 : General rules – Structural fire design (Еврокод 2 : Проектування залізобетонних конструкцій – Частина 1–2 : Загальні вимоги. Вогнестійкість).

5. Круковский П. Г. Определение огнезащитной способности вспучивающихся огнезащитных покрытий на железобетонных конструкциях / П. Г. Круковский, А. И. Ковалев, Е. В. Качкар // Науковий вісник УкрНДПБ. – 2010. – № (2) 22. – С. 38–44.

6. Круковский П. Г. Определение характеристики огнезащитной способности вспучивающегося огнезащитного покрытия для защиты складок НСК "Олимпийский" / П. Г. Круковский, А. И. Ковалев, Е. В. Качкар // Чрезвычайные ситуации : предупреждение и ликвидация : сб. тезисов докладов VI междунар. научн.-практ. конференции. – Минск, Республика Беларусь, 2011. – С. 371–373.