

УДК 614.841.332

А.И. Ковалев, к.т.н., Академия пожарной безопасности имени Героев Чернобыля

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОГНЕЗАЩИТНОЙ СПОСОБНОСТИ ПОКРЫТИЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЕРЕКРЫТИЙ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ТЕМПЕРАТУРНЫХ РЕЖИМОВ ПОЖАРА

В работе приведены результаты определения характеристики огнезащитной способности покрытия «Эндотерм 210104» многопустотного железобетонного перекрытия при различных температурных режимах пожара. Сделан вывод о минимально необходимой толщине исследуемого огнезащитного покрытия для обеспечения требуемого предела огнестойкости многопустотного железобетонного перекрытия при различных режимах пожара.

**Ключевые слова:** многопустотные железобетонные перекрытия, огнестойкость, огнезащитное покрытие, огнезащитная способность, температурные режимы пожара.

**Постановка проблемы.** В работе [1] разработана методика определения характеристики огнезащитной способности (ХОС) покрытий железобетонных перекрытий с помощью расчетно-экспериментального метода, решением прямых и обратных задач теплопроводности. ХОС покрытия железобетонного перекрытия в данной работе определяется как зависимость необходимой толщины огнезащитного покрытия от толщины защитного слоя бетона (расстояние между поверхностью нагрева и близлежащей арматурой), при которых обеспечивается требуемый предел огнестойкости железобетонного перекрытия для предельных состояний по признаку потери теплоизолирующей способности или достижения критической температуры арматуры при заданном в испытании уровне нагружения.

В этой методике ХОС покрытий железобетонных перекрытий определяется, используя данные испытаний на огнестойкость таких перекрытий при стандартном температурном режиме [2], что не всегда удовлетворяет требованиям, которые предъявляются к железобетонным конструкциям при их применении в других зданиях и сооружениях, например тоннелях, подземных стоянках, гаражах. На этих объектах пожары характеризуются большой скоростью нарастания температуры в начальной стадии и толщина огнезащитного покрытия, рассчитанная при стандартном температурном режиме, может не удовлетворять требованиям по безопасности при других температурных режимах пожара, например тоннельной кривой, углеводородной кривой.

### **Анализ последних достижений и публикаций.**

Существует множество работ, посвященных вопросам определения предела огнестойкости железобетонных конструкций, обработанных огнезащитными веществами [3-5]. Во всех этих работах испытания железобетонных конструкций, обработанных средствами огнезащиты, проводили в условиях стандартного температурного режима пожара, а вопросы работы таких покрытий при других температурных режимах пожара остались не освещенными.

**Постановка задачи и ее решение.** Целью работы является раскрытие особенностей влияния температурных режимов пожара на характеристику огнезащитной способности покрытий многопустотных железобетонных перекрытий.

**Выделение нерешенных ранее частей общей проблемы, которым посвящается статья.** Необходимо поднять вопрос о том, как будет работать предложенная методика при других температурных режимах пожара, отличных от стандартного, и какая толщина огнезащитного покрытия при толщине защитного слоя бетона перекрытия обеспечит требуемый предел огнестойкости многопустотного железобетонного перекрытия с этим покрытием.

**Изложение основного материала исследования.**

Для решения поставленной задачи применялся метод, основанный на математическом моделировании тепловых процессов в многослойном железобетонном перекрытии с огнезащитным покрытием [1]. Было выбрано одномерную математическую модель теплового состояния железобетонного перекрытия с разбивкой плиты на 6 слоев (рис. 1).

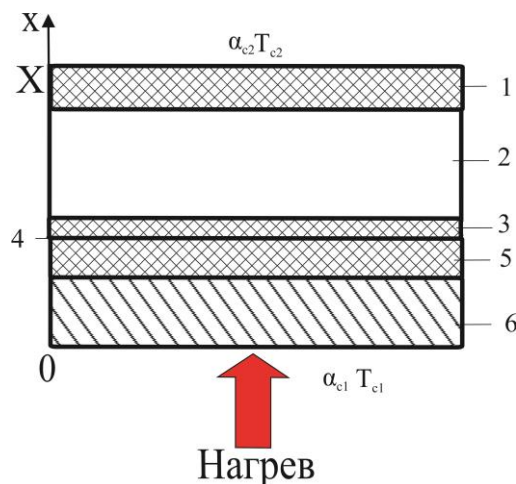


Рисунок 1 – Схема многослойного железобетонного перекрытия в одномерной постановке: 1 – слой сплошного бетона между необогреваемой поверхностью и слоем с пустотами перекрытия; 2 – слой с пустотами; 3 – слой сплошного бетона между пустотами и арматурой; 4 – слой арматуры; 5 – слой сплошного бетона от арматуры до обогреваемой поверхности; 6 – штукатурное покрытие.

Общая толщина перекрытия с покрытием (рис. 1) составляет сумму толщин отдельных слоев перекрытия. При испытании нижняя поверхность перекрытия нагревается конвективно-радиационными механизмами теплообмена от горячих газов в печи с температурой  $T_{c1}$ , близкой к кривой стандартного пожара [6; 7]. Верхняя поверхность перекрытия охлаждается конвекцией в окружающий воздух с температурой  $T_{c2} = 12\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Внутри перекрытия тепло передается не только теплопроводностью, а и конвективно-радиационными механизмами теплообмена в полостях перекрытия. Принимается условие идеального теплового контакта между отдельными слоями перекрытия.

Достижение поставленной в работе цели проводилось с помощью решения ряда тестовых задач теплопроводности по данным вычислительного эксперимента (ВЭ), т. е. решения ряда прямых задач теплопроводности (ПЗТ) с заданными теплофизическими характеристиками (ТФХ) бетона и огнезащитного покрытия.

Схема решения была выбрана максимально приближенно к испытаниям на огнестойкость многослойных железобетонных перекрытий [8]. Для проведения ВЭ были выбраны многослойные железобетонные перекрытия ПК 48-12-8т размерами  $4780 \times 1190$  мм, толщиной 220 мм и огнезащитное покрытие «Эндотерм 210104» средней толщиной 37 мм. Коэффициент теплоотдачи на обогреваемой поверхности принимался равным  $25\text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ , коэффициент теплоотдачи между необогреваемой поверхностью перекрытия и окружающим воздухом  $\alpha_{c2}$  принимался зависящим от температуры по закону свободно конвективного теплообмена от горизонтальной поверхности [9], степень черноты бетона принималась равной 0,7. ТФХ бетона слоев 1,3 и 5 задавали из [10], а ТФХ слоя 2 (слой пустот с перемычками бетона) искали решением ОЗТ по методике, более подробно описанной в [11]. ТФХ покрытия задавали из [1]: коэффициент теплопроводности, зависящий от температуры (рис. 2), удельная объемная теплоемкость постоянная и равная  $1,01 \cdot 10^6\text{ Дж}/(\text{м}^3 \cdot \text{К})$ .

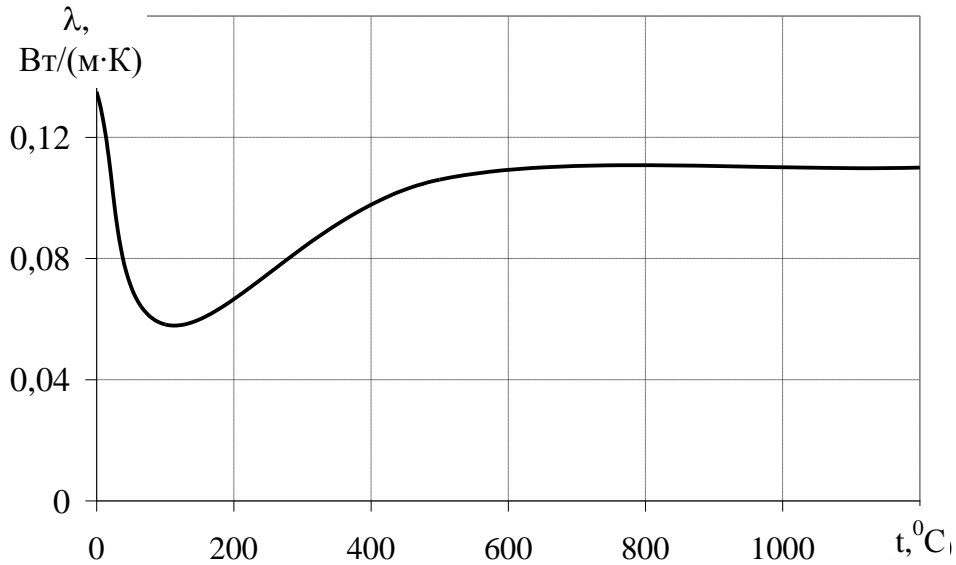


Рисунок 2 – Зависимость эффективного коэффициента теплопроводности штукатурного покрытия от температуры, найденного решением ОЗТ по данным испытаний на огнестойкость.

В тестовых задачах с помощью математической и компьютерной моделей, заданных ТФХ и граничных условий (ГУ) решением ПЗТ, получали нестационарное температурное распределение в многослойном железобетонном перекрытии и огнезащитном покрытии сначала при стандартном температурном режиме, а потом при режиме тоннельной кривой по стандартам Нидерландов (RWS) и углеводородной кривой (рис. 3). При решении серии ПЗТ, использовали предельное состояние конструкции по огнестойкости по достижению критической температуры 500 °С на арматуре со стороны огневого воздействия при заданном в испытании уровне нагружения.

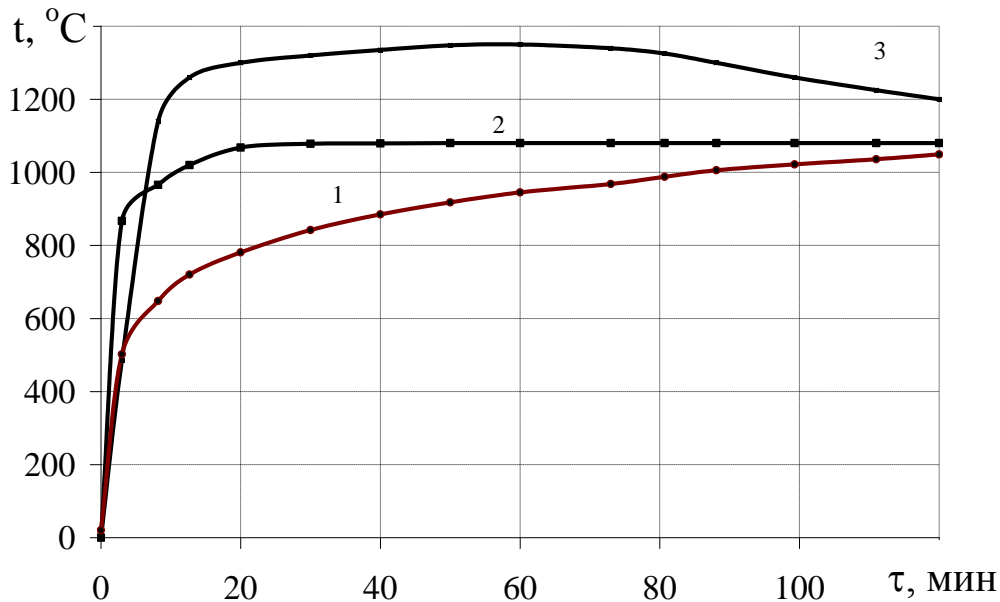


Рисунок 3 – Зависимость изменения температур от продолжительности огневого воздействия при различных режимах пожара, где:

- 1 – стандартная температурная кривая по ISO 834 и ГОСТ 30247.0-94;
- 2 – углеводородная кривая по EN 1363-2: 1999;
- 3 – тоннельная кривая по стандартам Нидерландов (RWS).

Стандартный температурный режим (рис. 3, кривая 1) является усредненной зависимостью и соответствует развитию пожара в помещениях жилых и общественных зданий. При этом полагается, что пожарная нагрузка эквивалентна 50 кг/м<sup>2</sup> древесины.

Вместе с тем, температурный режим пожара (изменение во времени среднеобъемной температуры среды при пожаре) в помещениях различных зданий и сооружений может существенно отличаться [12]. Поэтому используются и другие температурные режимы пожаров.

Горение различных углеводородных топлив (ЛВЖ и ГЖ) характеризуется быстрым повышением температуры до 1100 °С (рис.3, кривая 2). Такие пожары возможны на объектах нефтегазового и нефтехимического комплексов. В этом случае для оценки огнестойкости строительных конструкций используется «углеводородная кривая» [13], которая характеризуется зависимостью:

$$T=1080[1-0,325 \exp (-0,167t)-0,675 \exp (-2,5t)+20] \quad (1)$$

Другой возможный вид горения различных углеводородных топлив – пожар в тоннеле. В этих условиях, когда отвод тепла от очага затруднен, создается интенсивный температурный режим – «тоннельная кривая». Температура пожара может достигать 1200 °С и выше уже через 5–10 мин. В Нидерландах температурная кривая RWS [14] используется для оценки тепловых и механических свойств огнезащитных покрытий тоннелей, в которых разрешена транспортировка опасных грузов. Эта кривая (рис. 3, кривая 3) характеризуется быстрым повышением температуры до 1200 °С в первые минуты и дальнейшим более медленным ее нарастанием до 1350 °С.

Для этих температурных режимов характерен более быстрый рост температуры. Ввиду больших габаритов, сложной структуры и пространственной формы строительных конструкций подземных сооружений данного типа, экспериментальное определение их фактических пределов огнестойкости сопряжено с неоправданно большими затратами.

Поэтому наиболее эффективным методом для проведения исследований по определению влияния температурных режимов пожара на ХОС покрытий железобетонных перекрытий был выбран расчетно-экспериментальный метод, который является совокупностью экспериментальных и расчетных процедур, позволяющих с требуемой точностью определить искомую характеристику исследуемого объекта.

Решением серии ПЗТ, на основе одномерной математической модели теплового состояния железобетонного перекрытия, были получены толщины огнезащитного штукатурного покрытия «Эндотерм 210104» для требуемого предела огнестойкости перекрытия 180 мин (табл. 1).

Таблица 1 – Значения минимальной толщины покрытия «Эндотерм 210104» для обеспечения требуемого предела огнестойкости перекрытия 180 мин

Толщина защитного слоя бетона многпустотного железобетонного перекрытия, мм	Минимальная толщина огнезащитного покрытия, мм		
	Стандартный температурный режим	Режим углеводородного пожара	Режим тоннельного пожара по стандартам Нидерландов (RWS)
10	15,5	17,3	20
30	10,98	12,7	15,1
40	8,85	10,55	12,7
60	4,73	6,3	8,1

При этом принималось допущение, что для решения ПЗТ по определению ХОС покрытия при режиме углеводородного пожара и режиме тоннельного пожара по стандартам Нидерландов (RWS), ТФХ огнезащитного покрытия задавали найденные решением ОЗТ, используя данные испытаний на огнестойкость многопустотного железобетонного перекрытия при стандартном температурном режиме пожара.

Зависимости толщины огнезащитного покрытия «Эндотерм 210104» при толщине защитного слоя бетона 10-60 мм для обеспечения требуемого предела огнестойкости перекрытия в 180 мин показаны на рис. 4.

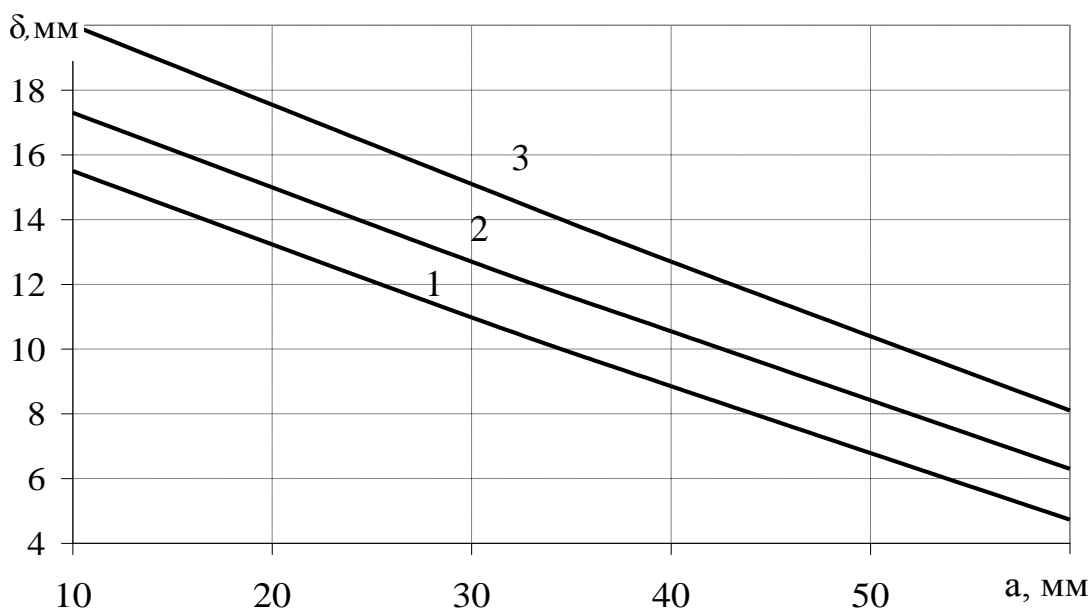


Рисунок 4 – Характеристика огнезащитной способности штукатурного покрытия «Эндотерм 210104» по критерию достижения критической температуры арматуры (500 °С) для предела огнестойкости 180 мин: 1 – для стандартного температурного режима; 2 – для режима углеводородного пожара; 3 – для режима тоннельного пожара по стандартам Нидерландов (RWS).

Как видно из рис. 4, значение минимальной толщины огнезащитного покрытия «Эндотерм 210104», которое обеспечивает требуемый предел огнестойкости многопустотного железобетонного перекрытия, которое рассчитано для стандартного температурного режима пожара, значительно меньше от значения для других температурных режимов. В результате установлено, что разница между значениями необходимой толщины огнезащитного покрытия «Эндотерм 210104» для стандартного температурного режима и температурного режима углеводородного пожара составляет около 12 %, а разница между значениями необходимой толщины огнезащитного покрытия «Эндотерм 210104» для стандартного температурного режима и температурного режима по стандартам Нидерландов (RWS) – 29 %.

**Выводы.**

Определено влияние температурных режимов пожара на характеристику огнезащитной способности исследуемого огнезащитного покрытия «Эндотерм 210104» для обеспечения требуемого предела огнестойкости многопустотного железобетонного перекрытия. При этом установлено, что максимальные значения минимальной толщины покрытия от 8,1 до 20 мм отмечаются для температурного режима пожара по стандартам Нидерландов (RWS), а минимальные значения от 4,73 до 15,5 мм – для стандартного температурного режима.

**Перспективой дальнейших исследований** есть усовершенствование методики определения характеристики огнезащитной способности покрытий железобетонных перекрытий, используя теплофизические характеристики бетона и покрытия по результатам испытаний на огнестойкость при других температурных режимах пожара.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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.
2. Захист від пожежі. Перекрыття та покриття. Метод випробування на вогнестійкість (EN 1365-2:1999, NEQ): ДСТУ Б В.1.1-20:2007. – [Чинний від 2007-10-26]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2007. – 14 с. – (Національний стандарт України).
3. Голованов В. И. Эффективность средств огнезащиты железобетонных блоков сборной обделки Лефортовского тоннеля / В. И. Голованов, В. В. Павлов, А. В. Пехотиков. – М.: Пожарная безопасность. – 2004. – № 2. – С. 54 – 55.
4. Методика проведения испытаний по определению эффективности средств огнезащиты железобетонных блоков сборной обделки для сооружения Лефортовского тоннеля закрытым способом. – М.: ФГУ ВНИИПО, 2003 – 21 с.
5. Яковлев А. И. Огнестойкость железобетонных конструкций / А. И. Яковлев // Пожарная профилактика и тушение пожаров: Информац. сб. ВНИИПО. – М.: Стройиздат, 1970. – № 6. – С. 18–26.
6. Ройтман В.М. Инженерные решения по оценке огнестойкости проектируемых и реконструируемых зданий / Владимир Миронович Ройтман. – М.: Ассоциация «Пожарная безопасность и наука», 2001. – 382 с.
7. Термодинамика пожаров в помещениях / [Астапенко В.М., Кошмаров Ю.А., Молчадский И.С., Шевляков А.Н.]. – М.: Стройиздат, 1988. – 448 с.
8. Круковский П.Г. Методика определения характеристики огнезащитной способности покрытий многпустотных железобетонных плит перекрытий / П.Г. Круковский, А.И. Ковалев // Науковий вісник УкрНДПБ. – 2011. – № 1 (23). – С. 87–101.
9. Качкар Е. В. Обоснование параметров трехслойных перегородок с минераловатными плитами для зданий и сооружений с учетом их огнестойкости : дис. ... кандидата техн. наук : 21.06.02 / Качкар Евгений Владимирович. – К., 2009. – 157 с.
10. 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).
11. Круковский П. Г. Обратные задачи тепломассопереноса (общий инженерный подход) / Павел Григорьевич Круковский. – Киев : Институт технической теплофизики НАН Украины, 1998. – 218 с.
12. Кошмаров Ю. А. Термодинамика и теплопередача в пожарном деле / Ю. А. Кошмаров, М. П. Башкирцев. – М. : ВИПТШ МВД СССР, 1987. – 444 с
13. EN 1363-2: 1999 Fire resistance tests – Part 2 : Alternative and additional procedures (Испытания на огнестойкость. Часть 2 : Альтернативные и дополнительные процедуры).
14. Naak A. Einführung in das EUREKA-Projekt/BMBF – Forschungs-projekt // Brandschutz in unterirdischen Verkehrsanlagen, Dresden, 1995. – S. 6–18
15. Круковский П. Г. Расчетно-экспериментальный подход к анализу процессов тепломассообмена (методология и примеры применения) / П. Г. Круковский // Промышленная теплотехника (приложение к журналу). – 2003. – Т. 25, № 4. – С. 396–398.