

УДК 624.012

*В. И. Осипенко, д. т. н., проф., В. К. Словинский, к. т. н.,
А. В. Поздеев, к. т. н., доц., Д. С. Федоренко, к. и. н.,*

Черкасский институт пожарной безопасности имени Героев Чернобыля НУГЗ Украины

УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫЙ МЕТОД ИСПЫТАНИЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОЛОНН НА ОГНЕСТОЙКОСТЬ

В статье рассмотрены вопросы реализации экспериментально-расчетного метода оценки огнестойкости железобетонных колонн на основе их огневых испытаний без приложения механической нагрузки. Применяя разработанный комплекс процедур для реализации разработанного метода получен предел огнестойкости железобетонной колонны. Показано, что разработанный экспериментально-расчетный метод является эффективным для определения пределов огнестойкости несущих железобетонных строительных конструкций.

Ключевые слова: испытание на огнестойкость, огневая печь, железобетонная колонна, экспериментально-расчетный метод, интерполяция, температурное поле.

Введение. При реализации испытаний железобетонных колонн на огнестойкость возникают определенные технические сложности, которые заключаются в несоответствии условий закрепления и нагрузки колонны, реализуемой в установках для испытаний закреплению и нагрузкам в соответствующей конструкции, несоответствию габаритных размеров колонны-образца для испытаний тем же параметрам реальной колонны и т.д. Поэтому стандартами Украины для испытаний колонн на огнестойкость [1, 2] не запрещаются испытания без приложения механических нагрузок, но в то же время указанный стандарт не дает обоснованной методики определения предела огнестойкости железобетонных колонн на основе таких испытаний.

Анализ публикаций [4 – 6], касающихся расчетных методов проектирования железобетонных колонн для их соответствия требованиям противопожарных норм, показывает что данные методы дают возможность комплексно учесть все перечисленные особенности, что делает перспективным их сочетание с экспериментальными методами.

Цель исследований заключается в разработке эффективного экспериментально-расчетного метода оценки огнестойкости железобетонных колонн на основе их огневых испытаний без приложения механической нагрузки.

Основной материал исследований.

В работе [4] предложен метод, который основан на математической интерпретации результатов огневых испытаний железобетонных колонн без приложения механической нагрузки. Данными, подлежащими интерпретации, являются значения температур, измеренные во внутренних слоях колонн, подвергнутых огневому воздействию в соответствии со стандартным температурным режимом пожара. Реализация метода происходит по алгоритму, блок-схема которого показана на рис. 1.

Измерения температуры при испытаниях происходят при расположении термодатчиков в сечении согласно схеме на рис.2.

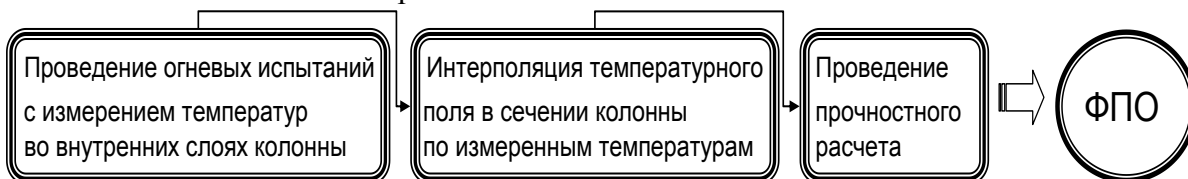


Рисунок 1 – Алгоритм реализации экспериментально-расчетного метода оценки огнестойкости железобетонных колонн.

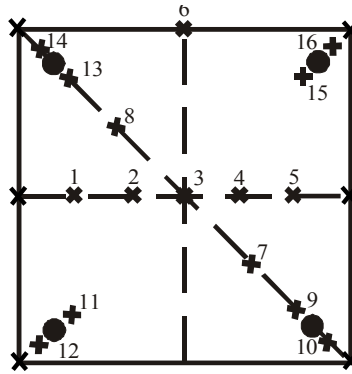


Рисунок 2 – Расположение термопар в сечениях железобетонной колонны (1 – 16 – номера контрольных точек в сечении).

Наши исследования [4] показали, что эффективными методами интерполяции температурного поля, являются методы, основанные на представлении температурных распределений по центральным горизонтали, вертикали и диагонали сечения параболлами, которые могут в общем виде описаны выражением:

$$T(i)|_{x \leq 0} = T_0 + (T_{\max} - T_0) \left[\frac{i}{n} \right]^q, \quad (1)$$

где T_0 – минимальная температура, °C; T_{\max} – максимальная температура, °C; i – номер контрольной точки в плоскости сечения; n – количество контрольных точек; q – показатель степени параболлы.

Проведение интерполяции может быть осуществлено тремя способами. Интерполяцию по первому способу предлагается проводить по аппроксимации линий, образованных фронтальными сечениями поверхности температурного поля, параболическими зависимостями. По второму способу интерполяция осуществляется с использованием аппроксимации образующих поверхности температурного распределения параболическими зависимостями. Третий способ заключается в аппроксимации линий изотерм афинными кривыми и их построении в каждой точке дискретизированного сечения по зависимостям, определяемых выражением:

$$y(x) = q \left(1 - \left(\frac{x}{q} \right)^p \right)^{1/p}, \quad (2)$$

где p и q – коэффициенты, подлежащие определению при приближении поверхности распределения температур.

Задача приближения поверхности распределения температур решается путем минимизации среднеквадратической невязки.

Для изучения эффективности методов интерполяции были проведены огневые испытания двух железобетонных колонн $500 \times 500 \times 3000$ из тяжелого бетона на гранитном заполнителе в огневой печи. Схема и общий вид испытательной установки приведена на рис. 3 и рис. 4.

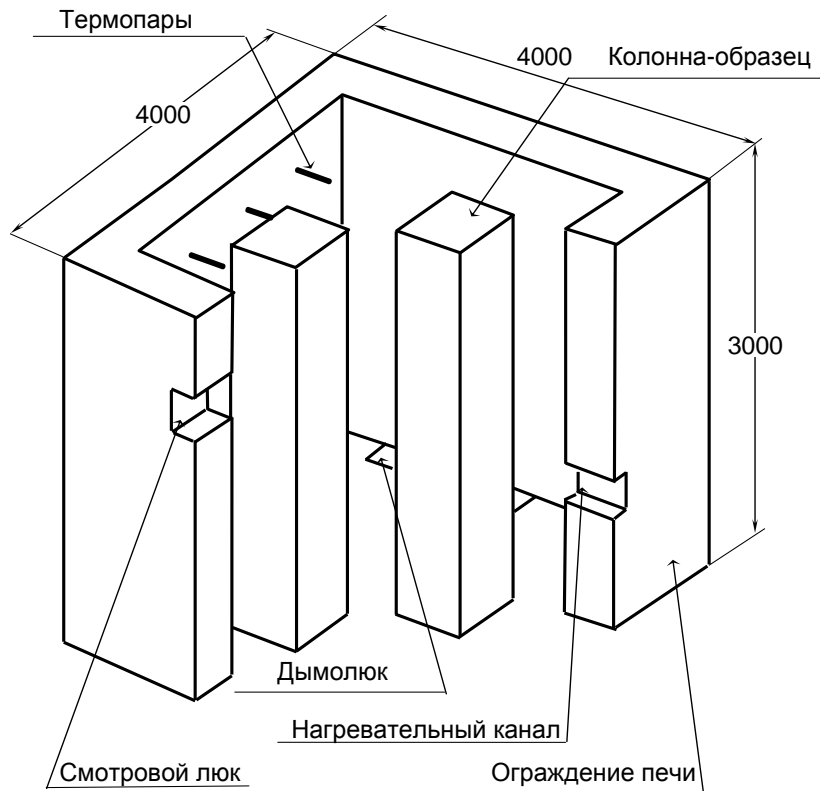


Рисунок 4 – Схема испытательной установки



Рисунок 5 – Общий вид испытательной установки

Схема армирования колонны и схема расположения термопар показана на рис. 6.

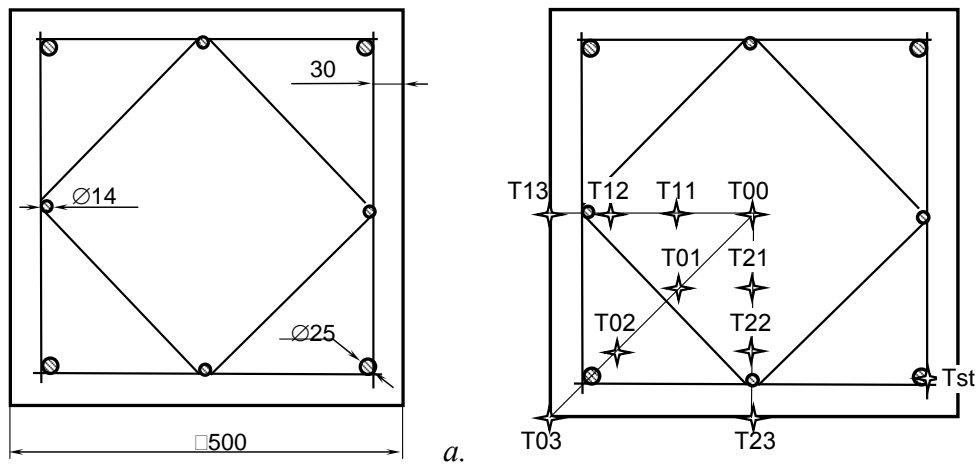


Рисунок 6 – Схема армирования (а) и схема расположения термопар (б) железобетонной колонны.

На рис. 7 показан общий вид образцов перед испытаниями.



Рисунок 7 –. Общий вид образцов перед испытаниями.

На рис. 8 показан температурный режим испытаний железобетонных колонн.

Температурные показатели во внутренних слоях сечения колонны показаны на рис. 9.

Используя разработанные алгоритмы, были получены параболические распределения температур в сечении в соответствии с теоретическими представлениями о теплопередаче в железобетонных конструкциях. На рис 10 представлены результаты расчета по 1 и 3 способу. 2 способ дал результаты, которые не соотносятся с теоретическими представлениями о теплопередаче, поэтому в данной статье результаты расчета с его применением не представлены.

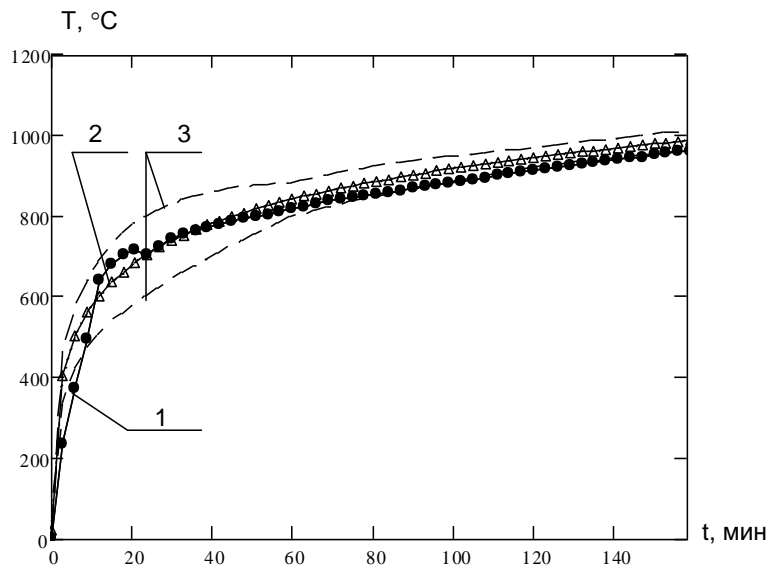


Рисунок 8 – Температурный режим испытаний в печи:

1 – средняя температура в печи, 2 – стандартная температурная кривая, 3 – допустимые отклонения температурного режима

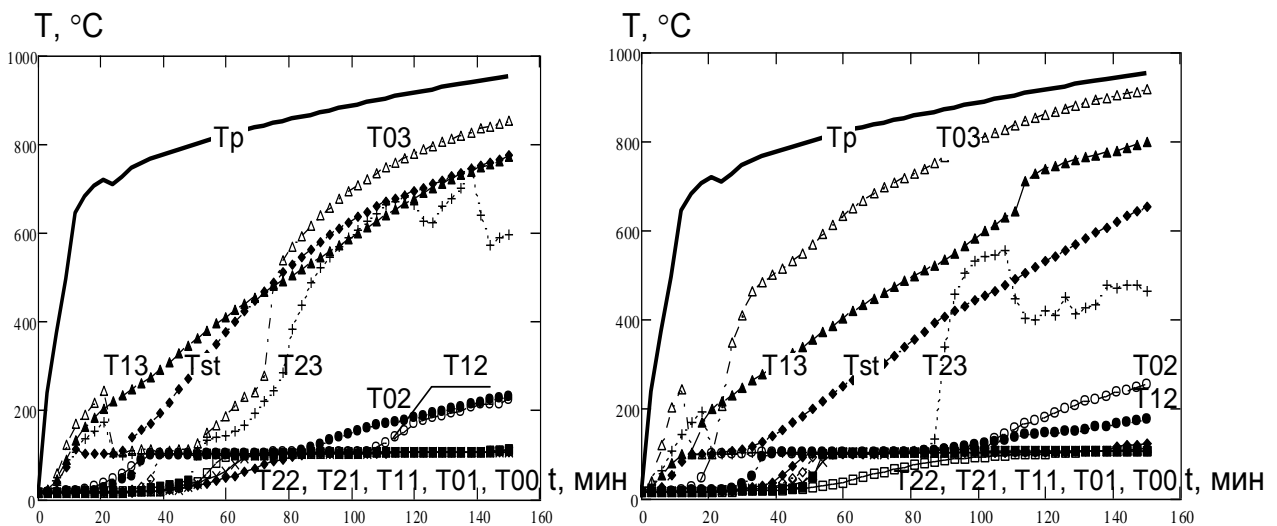


Рисунок 9 – Результаты измерения температур в колонне.

При сравнении результатов, полученных данными методами, видно, что они подобны. Первый способ позволяет учесть неоднородность огневого воздействия, а второй менее восприимчив к случайным воздействиям в эксперименте типа чрезмерного парообразования из-за плохой сушки колонн-образцов. Для более подробного анализа были рассмотрены отклонения расчетных данных от результатов экспериментов. В табл. 1 приведены результаты проведенного сравнительного анализа.

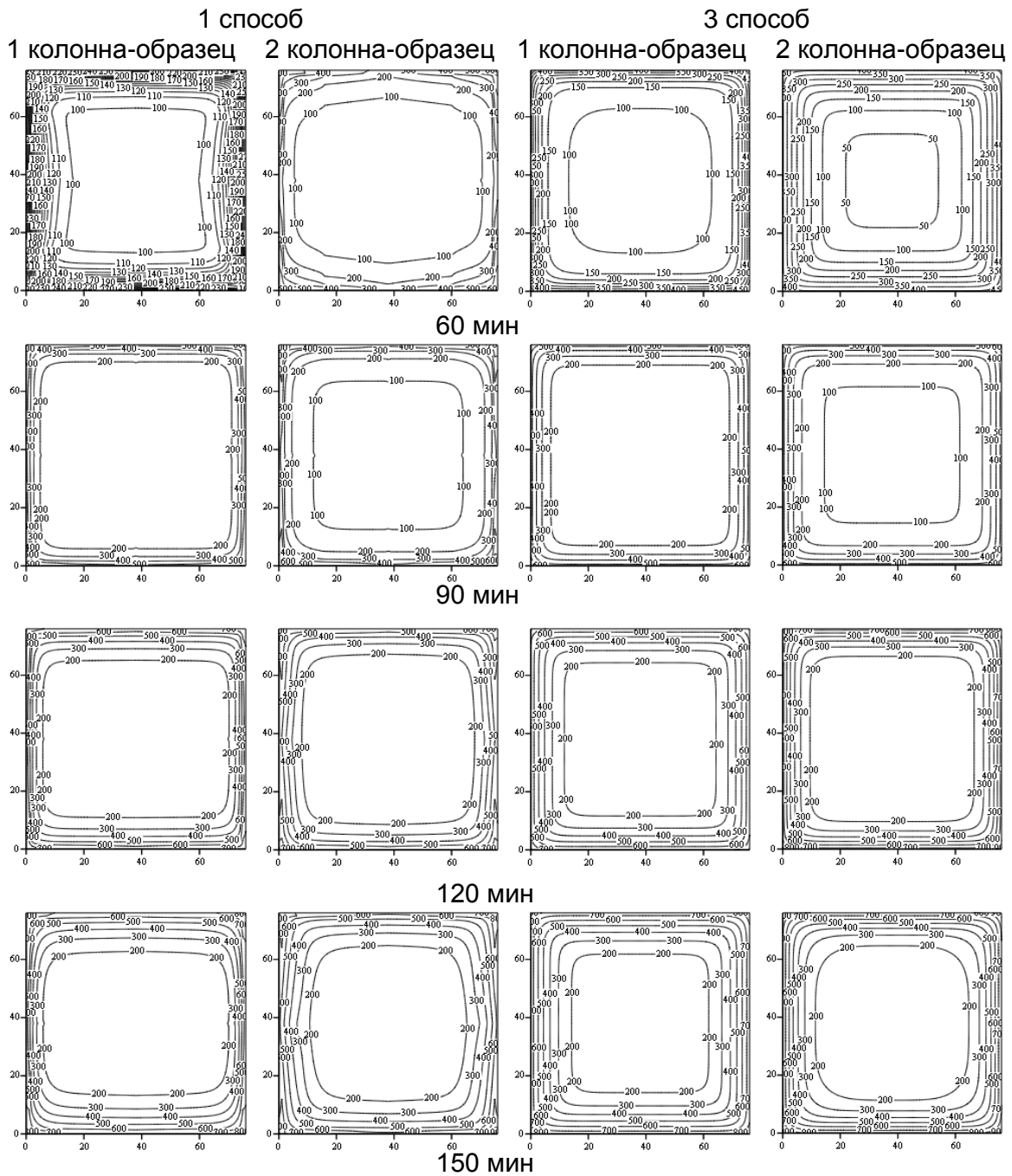


Рисунок 10 – Результаты измерения температур (°C) в колонне.

Таблица 1 – Данные сравнительного анализа результатов интерполяции по разным методам

Способ и интерполяции	Максимальное отклонение, °C	Среднее относительное отклонение, %	Среднеквадратичное отклонение, °C
1 метод	75	7,8	26,3
3 метод	89	6,5	25,5

Полученные результаты интерполяции являются адекватными и их можно использовать для расчета предела огнестойкости согласно одному из методов анализ прочностной задачи в качестве такого метода предлагается использовать рекомендации евронорм Eurocode 2 [5] пункта В3 дополнения В. Используя данный алгоритм расчета, был построен график критической силы в каждый момент времени испытания. При ее сравнении

с действующей силой, согласно расчетной схеме конструкции было выявлено, что предел огнестойкости не наступает. На рис. 11 приведенные построенные графики.

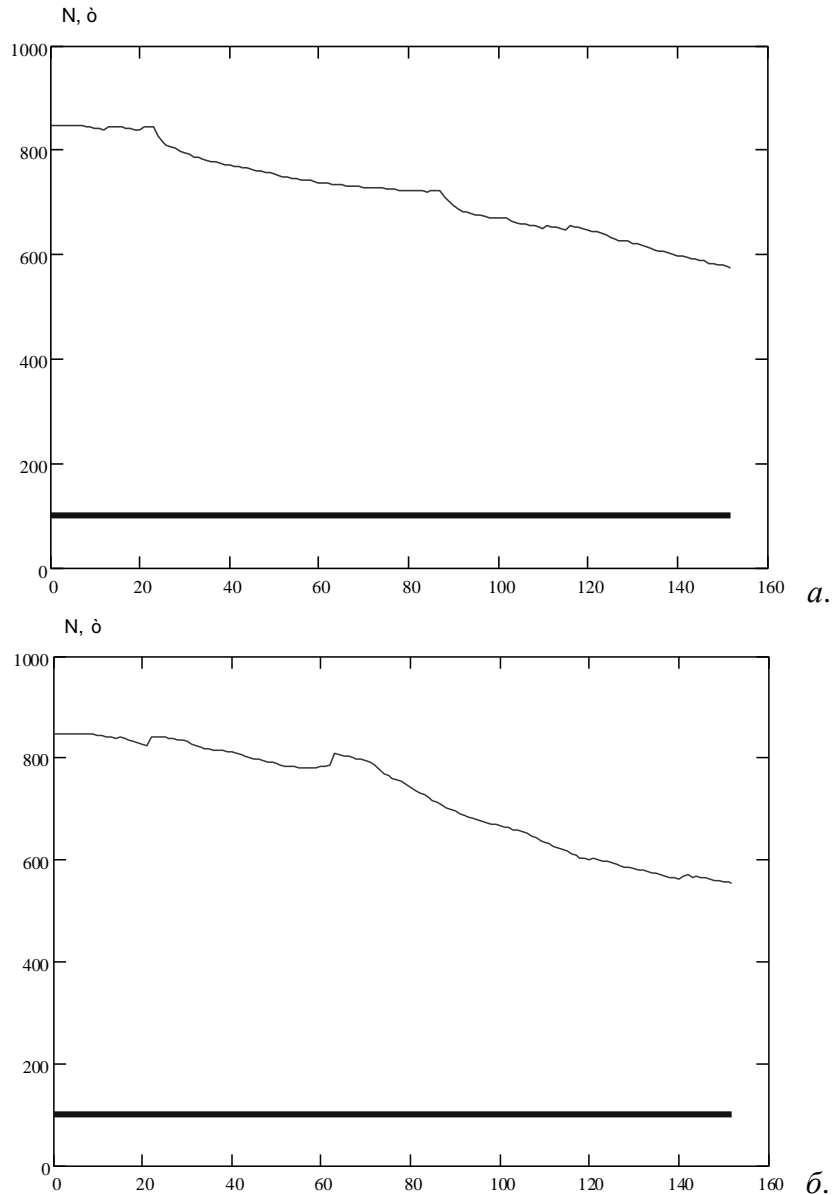


Рисунок 11 – Несущая способность колонны-образца №1 (а) и колонны-образца №2 (б).

Выводы.

1. В результате проведенных исследований был разработан экспериментально-расчетный метод оценки огнестойкости железобетонных колонн на основе их огневых испытаний без приложения механической нагрузки

2. Разработаны эффективные способы интерполяции для приближения температурных полей в сечениях железобетонных колонн при их огневых испытаниях по данным температурных измерений во внутренних слоях испытываемых колонн.

3. Исследована адекватность результатов, полученных при расчете, показано, что они являются адекватными для определения предела огнестойкости железобетонных колонн при этом выделены наиболее эффективные способы интерполяции.

4. Проведены огневые испытания железобетонных колонн и на их основе исследована устойчивость методов интерполяции в результате чего выделен наиболее эффективный метод итерполяции, который основан на аппроксимации изотерм поля.

5. На основе интерпретации полученных данных в ходе огневых испытаний был определен предел огнестойкости железобетонной колонны, показывающий эффективность разработанного метода.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. ДБН В.1.1-7-2002 Захист від пожежі. Пожежна безпека об'єктів будівництва.
2. ДСТУ Б В.1.1-14-98. Захист від пожежі. Колони. Метод випробування на вогнестійкість. – К.: Укрархбудінформ, 2005.
3. ДСТУ Б В.1.1-4-98. Будівельні конструкції. Методи випробувань на вогнестійкість. Загальні вимоги. Пожежна безпека. – К.: Укрархбудінформ, 2005.
4. Поздеев С.В., Василенко І.Р., Кузьмін О.Г., Словінський В.К.// Тези доповідей конференції «Метод інтерпретації результатів вогневих випробувань залізобетонних колон для оцінки їх вогнестійкості». Матеріали XII Міжнародного виставкового форуму «Технології захисту» 15 Всеукраїнської науково-практичної конференції. 24-25 вересня 2013 р. – Київ: Інститут державного управління у сфері цивільного захисту, 2013 – С. 25-26.
5. EN 1992-1-2:2004 Eurocode 2: Design of concrete structures Part 1-2: General rules - Structural fire design, Brussels, 2004.
6. Милованов А.Ф. Огнестойкость железобетонных конструкций / Милованов А.Ф. – М.: Стройиздат, 1986. – 224 с.
7. Поздеев С.В. Исследование эффективности математических моделей для решения теплотехнической задачи при определении огнестойкости железобетонных конструкций / Поздеев С.В., Поклонский В.Г., Некора О.В., Поздеев А.В. // Строительство, материаловедение, машиностроение : [сб. науч. трудов]. – Днепропетровск: ПГАСА, 2010. – Вып. 52 : [серия «Безопасность жизнедеятельности»]. – С. 44-48.