

*О.В. Некора, к. т. н., вед. научн. сотр., АПБ им. Героев Чернобыля*

**РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ МЕТОД  
ОПРЕДЕЛЕНИЯ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ  
ВНЕЦЕНТРЕННО СЖАТЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОЛОНН  
ПРИ ПОЖАРЕ**

(представлено д-ром техн. наук Абрамовим Ю.О.)

В статье приведено обоснование расчетно-экспериментального метода определения огнестойкости внецентренно сжатых железобетонных колонн, который состоит в том, что бетонный образец, моделирующий определенный слой железобетонной колонны, нагревается в соответствие с ранее рассчитанным режимом. Одновременно с нагревом образец сжимают под нагрузкой, соответствующей напряжению в колонне. По результатам данных исследований определяется предел огнестойкости колонны.

**Ключевые слова:** огнестойкость, внецентренно сжатые железобетонные колонны, расчетно-экспериментальный метод.

**Постановка проблемы.** Многочисленные исследования [1, 2] показывают, что в условиях пожара нарушение общей устойчивости здания всегда происходит вследствие разрушения отдельных элементов в каркасе сооружения. Опасность обрушения несущих конструкций ставит под угрозу жизнь людей во время эвакуации при пожаре, во время работы аварийно-спасательных подразделений и приводит к значительным материальным убыткам. Поэтому сохранение несущей способности элементов несущих конструкций при пожаре в течение заданного времени является первоочередной задачей.

Современные тенденции увеличения пожаров и других чрезвычайных ситуаций, которые могут стать причиной пожаров или являются их следствием, показывают важность задач совершенствования расчетно-испытательной базы для определения огнестойкости железобетонных строительных конструкций. Дополнительным обстоятельством, обуславливающим важность этих задач, является отсутствие достаточной испытательной базы в Украине, трудоемкость и высокая стоимость огневых испытаний железобетонных строительных конструкций.

**Анализ последних исследований и публикаций.** В работе [3] был развит расчетно-экспериментальный метод определения огнестойкости сжатых элементов железобетонных строительных конст-

рукций. Сущность предложенного расчетно-экспериментального метода состоит в физическом делении сечения железобетонной колонны на области, которые моделируются образцами, подлежащими комбинированным испытаниям в условиях, близким к условиям, в которых находится соответствующий внутренний слой реального элемента железобетонной конструкции во время «стандартного» пожара. Условия проведения испытаний определяются расчетным путем на основе компьютерного моделирования процессов, которые происходят во внутренних слоях. Данный подход имеет гибкость и универсальность расчетных методов, в то же время проведения лабораторных экспериментальных испытаний повышает достоверность расчета. Реализация таких экспериментов не требует больших затрат и имеет невысокую стоимость. Не смотря на довольно глубокую проработку этого метода, учет разных граничных условий для железобетонных колонн является актуальной задачей для расширения пределов его применения.

**Постановка задачи и ее решение.** Задачей исследования является обоснование экспериментальных и расчетных методик, связанных с комбинированными лабораторными испытаниями бетонных образцов, для реализации расчетно-экспериментального метода определения несущей способности внецентренно сжатых железобетонных колонн при пожаре.

1	5	9	13	17	21	25	29
2	6	10	14	18	22	26	30
3	7	11	15	19	23	27	31
4	8	12	16	20	24	28	32

**Рис. 1 – Схема деления сечения внецентренно сжатой железобетонной колонны на конечные области при ее всестороннем нагреве**

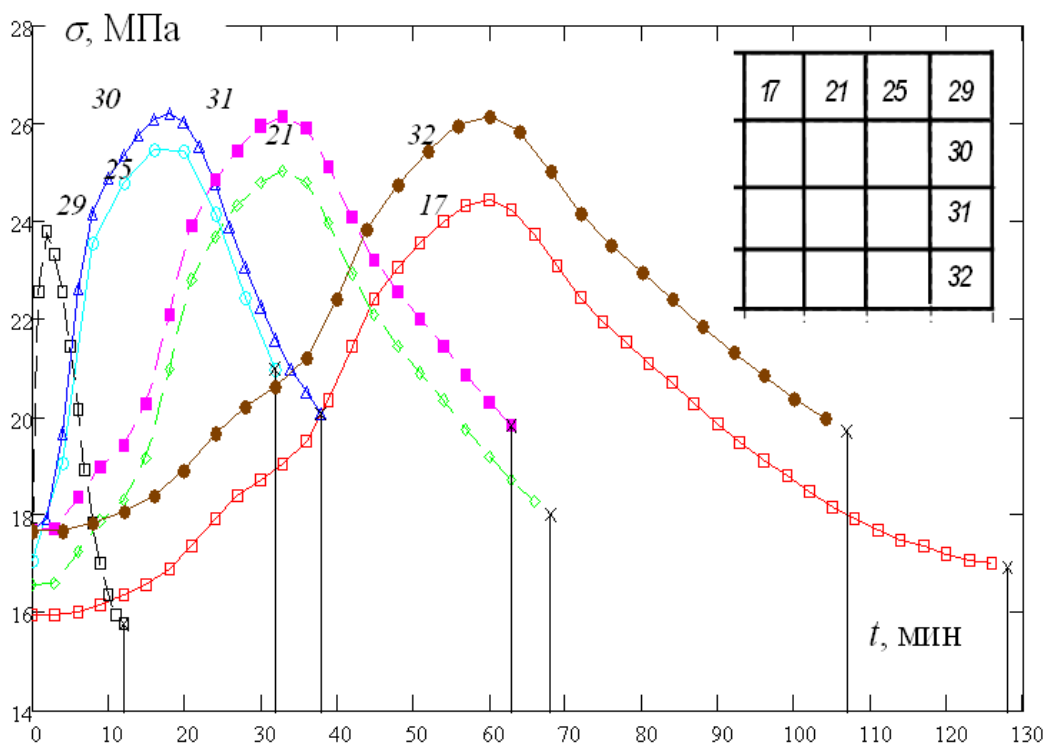
В работе [3] детально рассмотрены методики применения расчетно-экспериментального метода для центрально сжатых колонн. Для применения данных методик для внецентренно сжатой колонны

была рассмотрена железобетонная колонна сечением 400×400 длиной 3 м из тяжелого бетона В30 на гранитном заполнителе с четырьмя армирующими продольными стержнями класса А-III и защитным слоем покрытия 40 мм. Согласно расчетной схеме на колонну действует нагрузка 2,5 МН со случайным эксцентриситетом равным 0,01 м.

Для проведения испытаний были рассчитаны тепловые режимы, которые описаны в работе [3]. Каждый из образцов нагружался силой, рассчитанной с учетом момента, который обусловлен наличием случайного эксцентриситета. Нагрузки приведены в табл. 1 при схеме дискретизации сечения, показанной на рис. 1

**Таблица 1– Значения нагрузок, приложенных к образцам, моделирующих слой внецентренно сжатой железобетонной колонны**

	N, кН							
	1-4	5-8	9-12	13-16	17-20	21-24	25-28	29-32
Ø56 мм	33.43	34.88	36.32	37.76	39.21	40.65	42.09	43.54
Ø76 мм	61.58	64.24	66.9	69.55	72.21	74.87	77.53	80.19



**Рис. 2 – Зависимости напряжения от времени для бетонных образцов Ø76 с В/Ц = 0,36 и крупностью заполнителя 30–40 мм, моделирующих внутренние слои внецентренно сжатой железобетонной колонны**

Комбинированные испытания производились на установке состоящей из управляемой муфельной печи и гидравлического домкрата согласно методике, описанной в работе [3]. Температурные режимы нагрева образцов осуществляются при помощи управляющего устройства ПРОТЕРМ 100.

Эксперимент проходил при фиксированном положении губок основания установки и гидравлического домкрата. Основными показаниями, определяемыми при проведении эксперимента, было давление в рабочем цилиндре домкрата, соответствующее среднему напряжению сжатия в испытуемом образце. Типичные результаты измерений показаны на рис. 2. На рис. 3 представлены обобщенные результаты испытаний в сравнении с напряжениями, вызванными нормативной нагрузкой.

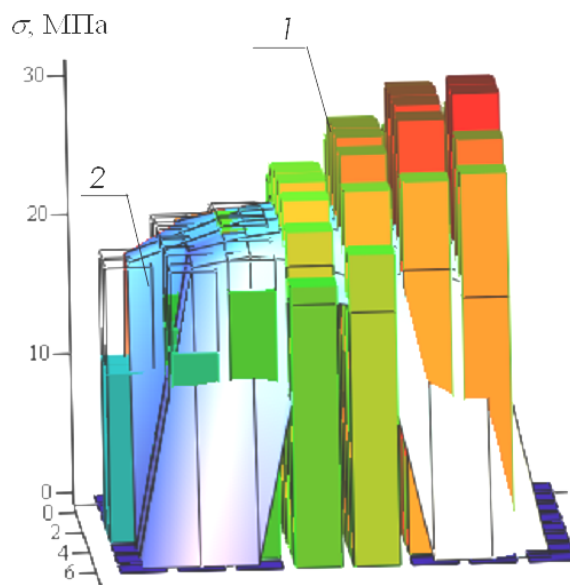


Рис. 3 – Напряжения (1) для внецентренно сжатой колонны и соответствующая прочность (2) образцов после комбинированных испытаний.

Внешняя штатная нагрузка, соответствующая расчетной схеме здания, создает деформацию, определяемую по уравнениям [3]:

$$\sum_i \sum_j E_{bTij} f \left( \varepsilon + \frac{y_{ij}}{\rho} \right) + \sum_i \sum_j E_{aij} f_a \left( \varepsilon + \frac{y_{aij}}{\rho} \right) = P, \quad (1)$$

$$\sum_i \sum_j E_{bTij} f \left( \varepsilon + \frac{y_{ij}}{\rho} \right) \cdot (w + y_{ij}) + \sum_i \sum_j E_{aij} f_a \left( \varepsilon + \frac{y_{aij}}{\rho} \right) (w + y_{aij}) = P \cdot (w + e),$$

где  $\rho$  – радиус кривизны изогнутой оси колонны;  $w$  – максимальный прогиб колонны;  $e$  – эксцентриситет нагрузки;  $y_{ij}$  – координаты центров областей, на которые разбито сечение элемента относительно главной оси сечения.

Радиус кривизны определяется соотношением [3]:

$$\frac{1}{\rho} = \frac{\xi}{\sqrt{(1-\xi^2)^3}}, \quad \xi = w \frac{\pi^2 \mu^2}{l} \sin\left(\frac{\pi \mu}{2}\right), \quad (2)$$

где  $\mu$  – коэффициент закрепления (для шарнирного закрепления с обеих сторон колонны  $\mu = 1$ );  $l$  – высота колонны (принимается равной 3 м).

Согласно [1], для расчета несущей способности колонн можно воспользоваться формулами, соответственно, для центрально сжатых и внецентренно сжатых колонн:

$$N = \sum_i R_{bi} f + \sum_j \gamma_{aj} R_a f_a, \quad (3)$$

где  $R_b$  – прочность бетонных образцов после комбинированных испытаний;  $R_a$  – нормативное сопротивление рабочей арматуры;  $\gamma_a$  – коэффициент снижения нормативного сопротивления арматуры.

При использовании методики расчета, предложенной в [4], используются формулы для внецентренно сжатых железобетонных колонн:

$$N = \varphi a \left( \sum_i R_{bi} f + \sum_j \gamma_{aj} R_a f_a \right), \quad (4)$$

где  $a$  – коэффициент, учитывающий влияние температуры на продольный изгиб колонны;

$\varphi$  – коэффициент продольного изгиба, определяемые по формулам:

$$a = 1 - \frac{(1 - a_u)(\lambda_u - 14)}{(\lambda_u - 14)}, \quad \varphi_l = \varphi_b + 2(\varphi_s + \varphi_b) \cdot \alpha_t. \quad (5)$$

Коэффициенты  $a_u$ ,  $\lambda_u$ ,  $\varphi_s$ ,  $\varphi_b$ ,  $\alpha_t$  определены по таблицам [4].

**Таблица 2 – Несущая способность железобетонной колонны 400×400 для разных способов нагружения**

Центральное сжатие	Внецентренное сжатие	
Несущая способность согласно данным [3] N, МН	Несущая способность согласно данным [3] и формуле (4) N, МН	Несущая способность по формуле (1) N, МН
2,75	2,68	2,6

Используя данные интегральные критерии, определим несущую способность по двум разным методикам для центрально и внецентренно сжатых колонн. Результаты расчетов приведены в табл. 2.

**Выводы.** 1. В результате проведенных исследований обоснованы процедуры расчетно-экспериментального метода для определения несущей способности внецентренно сжатой железобетонной колонны при «стандартном» пожаре.

2. Обоснованы критерии, по которым определяется несущая способность внецентренно сжатой железобетонной колонны при применении расчетно-экспериментального метода.

3. На основании полученных данных определена несущая способность внецентренно сжатой железобетонной колонны при 120 минутах воздействия пожара, соответствующего стандартной температурной кривой.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Огнестойкость зданий / [Бушев В.П., Пчелинцев В.А., Федоренко В.С., Яковлев А.И.]; под общ. ред. В.А. Пчелинцева. – [2-е изд.]. – М.: Стройиздат, 1970. - 262 с.

2. Поздеев С.В. Обоснование экспериментально-расчетной методики определения несущей способности железобетонной колонны при пожаре / С.В. Поздеев, О.В. Некора, А.В. Поздеев // Проблемы пожарной безопасности. – 2007. – №21. – С. 201 – 207.

3. Некора О.В. Определение несущей способности железобетонной колонны при пожаре расчетно-экспериментальным методом. / О.В. Некора // Вісник ЧДТУ. – 2006. – № 4. – С. 15 – 20.

4. Рекомендации по расчету пределов огнестойкости бетонных и железобетонных конструкций. – М.: НИИЖБ, 1986. – 40 с.

О.В. Некора

**Розрахунково-експериментальний метод визначення несучої здатності позацентрово стиснутих залізобетонних колон при пожежі.**

У статті наведено обґрунтування розрахунково-експериментального методу визначення вогнестійкості позацентрово стиснутих залізобетонних колон, який полягає у тому, що бетонний зразок, який моделює визначений шар залізобетонної колони, нагрівається у відповідності з попередньо розрахованим режимом. Одночасно із нагрівом зразок стискають під навантаженням, відповідним напруженню у колоні. За результатами даних випробувань визначається межа вогнестійкості колон.

**Ключові слова:** вогнестійкість, позацентрово стиснуті залізобетонні колони, розрахунково-експериментальний метод.

O.V. Nekora

**Experiment-calculated method of carrying capacity determination of off-centre compressed reinforced concrete columns during the fire.**

Experiment-calculated method of fire-resistance determination of off-centre compressed reinforced concrete columns is explained in the article. This method lies in the fact that the concrete pattern, which models the determined layer of reinforced concrete column, gets warm according to the precalculated conditions. Simultaneously with the heating the pattern is compressed under load appropriate with the tension in column. The fire-resistance boundary of columns is defined according to the results of research data.

**Keywords:** fire-resistance, off-centre compressed reinforced concrete columns, experiment-calculated method.