Н. А. ИЛЬИН
Д. А. ПАНФИЛОВ
Ю. В. ЖИЛЬЦОВ

ИННОВАЦИОННЫЙ МЕТОД ОЦЕНКИ ОГНЕСТОЙКОСТИ МОНОЛИТНОЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ БАЛОЧНОЙ ПЛИТЫ ПЕРЕКРЫТИЯ ЗДАНИЯ

INNOVATIVE METHOD FOR ASSESSING
THE FIRE RESISTANCE OF A MONOLITHIC REINFORCED
CONCRETE BEAM FLOOR SLAB OF A BUILDING

Сущность предлагаемого инновационного метода заключается в том, что испытание монолитной железобетонной балочной плиты здания проводят без разрушения, по комплексу единичных показателей качества, оценивая их величину с помощью статистического контроля. Для этого определяют геометрические размеры балочной плиты, схему обогрева расчетного сечения в условиях пожара, размещение арматуры в сечении, глубину заложения и степень ее огнезащиты, показатель термодиффузии бетона, величину испытательной нагрузки на монолитную балочную железобетонную плиту и интенсивность напряжения в стержнях продольной рабочей арматуры. Применение предлагаемого метода позволит определить фактическую огнестойкость монолитной железобетонной балочной плиты перекрытия без натурного огневого воздействия.

Ключевые слова: показатель огнестойкости конструкции, железобетонная балочная плита перекрытия, оценка огнестойкости монолитной железобетонной балочной плиты перекрытия, технологический эффект

The essence of the proposed innovative method lies in the fact that the testing of a monolithic reinforced concrete beam slab of a building is carried out without destruction, according to a set of single quality indicators, while evaluating their value using statistical control. To do this, the geometric dimensions of the beam slab, the heating scheme of the design section under fire conditions, the placement of reinforcement in the section, the depth and degree of its fire protection, the rate of thermal diffusion of concrete, the value of the test load on the monolithic beam reinforced concrete slab and the stress intensity in the rods of the longitudinal working reinforcement are determined. Application of the proposed method will determine the actual fire resistance of a monolithic reinforced concrete beam floor slab without full-scale fire exposure.

Keywords: fire resistance index of the structure, reinforced concrete floor beam slab, fire resistance assessment of monolithic reinforced concrete floor beam slab

Исследование относится к области пожарной безопасности зданий и может быть использовано для классификации монолитных железобетонных балочных плит перекрытий зданий по показателям сопротивления их воздействию высоких температур при пожаре [1–5]. Это дает возможность обоснованного использования существующих конструкций с фактическим проектным пределом огнестойкости в зданиях, различных по функциональной пожароопасности [6–10].

Потребность оценки показателей огнестойкости монолитных железобетонных плит перекрытий возникает при усилении его конструкций, реконструкции здания, приведении фактической огнестойкости конструкций здания в соответствие с требованиями соответствующих норм, при проведении экспертизы и восстановлении монолитных железобетонных плит после пожара [11–14].

Особенностью предлагаемого авторами метода является то, что в качестве железобетонной балочной конструкции здания принимается монолитная железобетонная балочная плита перекрытия (рис. 1, 2), для которой определяется интенсивность силовых напряжений в растянутой арматуре в расчетном сечении и показатель неразрезности монолитной железобетонной балочной плиты перекрытия (рис. 3–5). При этом фактический предел огнестойкости монолитной железобетонной балочной плиты перекрытия по признаку потери несущей способности $F_{U(R)}$, мин, определяют используя аналитическое уравнение

$$F_{U(R)} = \frac{(2,15 \cdot |\ln J_{cs}|)^{6,6/n} \cdot e^c \cdot k_m}{(425/t_{cr})^{6,6}}, \quad (1)$$

где J_{os} – интенсивность напряжения продольной рабочей арматуры в расчетном сечении монолитной железобетонной балочной плиты перекрытия; n – эмпирический показатель класса продольной рабочей арматуры; t_{cr} – критическая температура рабочей арматуры; C – степень огнезащиты продольной рабочей арматуры; e – натуральное число; k_m – показатель неразрезности монолитной железобетонной балочной плиты перекрытия.

Предел огнестойкости монолитной железобетонной балочной плиты перекрытия по признаку потери теплоизолирующей способности $F_{U(J)}$ мин, вычисляют по степенной функции

$$F_{U(J)} = 4,6 \cdot (h_{\min} / D_{\text{от}})^2, \quad (2)$$

где $h_{\min}$ – минимальная толщина полки монолитной железобетонной плиты перекрытия, мм; $D_{\text{от}}$ – показатель термодиффузии бетона, мм²/мин.

Показатели огнестойкости (n и t_{cr} , °C) монолитной железобетонной балочной плиты перекрытия, армированной различными видами стали, принимают в зависимости от класса арматуры (см. таблицу)

Показатели огнестойкости
монолитной железобетонной балочной
плиты перекрытия

Класс арматуры	A 400	A 240, A 500	A 600	A 800	A 1000	K 1500 (K-7, K-19)
n	4,4	2,8	3,6	4,2	3,85	2,48
t_{cr} , °C	550	510	505	500	450	365

Степень огнезащиты продольной рабочей арматуры при одностороннем подводе тепла (С) рассчитывают по степенной функции

$$C = \frac{a_{\min}}{(0,63 \cdot D_{\text{от}})^{0,8}}, \quad (3)$$

где $a_{\min}$ – минимальная глубина залегания продольной рабочей арматуры в поперечном сечении, мм; $D_{\text{от}}$ – показатель термодиффузии бетона, мм²/мин.

Интенсивность силовых напряжений (J_{os}) в растянутой арматуре в расчетном сечении монолитной железобетонной плиты перекрытия определяют по уравнению

$$J_{os} = \frac{g_{н.дл}}{g} \cdot \frac{A_{s,мп}}{A_s} \cdot \frac{R_s}{R_{su}} \leq 1, \quad (4)$$

где $g_{н.дл}$ и g – нормативная длительная и расчетная нагрузка, кН·м; A_s и A_{su} – площадь сечения по проекту фактическая и требуемая по расче-

ту, мм²; R_s и R_{su} – расчетное и предельное сопротивление арматуры, МПа.

Показатель неразрезности монолитной железобетонной балочной плиты перекрытия здания (k_m) определяют по уравнению

$$k_m = 1 + 0,5 \cdot (A_{on} / A)^{1,5}, \quad (5)$$

где A_{on} и A – соответственно площади сечения продольной рабочей арматуры над опорой и в пролете монолитной железобетонной балочной плиты перекрытия, мм²; t_{cm} – температура стандартного пожара (t_{cm} , °C) в условиях его развития (τ_{cm} , мин), вычисленная по уравнению

$$t_{cm} = 345 \cdot \ell_g (8 \cdot \tau_{cm} + 1). \quad (6)$$

Рис. 1. Конструктивная схема перекрытия здания из монолитных железобетонных балочных плит: 1 – главная балка; 2 – второстепенная балка; 3 – расчетная полоса шириной $b = 1000$ мм для расчета плиты на прочность и огнестойкость; L_1 и L_2 – пролеты балочной плиты, мм; H_1 и H – высота сечения главной и второстепенной балки, мм; h – высота сечения плиты, мм; ℓ_{01} и ℓ_{02} – расчетные размеры пролетов балочной плиты, мм; B – ширина второстепенной балки, мм

Рис. 2. Расчетные пролеты и схемы армирования продольного сечения балочной плиты; C_1 и C_2 – арматурные сетки; ℓ_{01} и ℓ_{02} – расчетные размеры пролетов балочной плиты, мм; a – заделка балочной плиты в стене на опоре, мм

Рис. 3. Расчетная схема балочной плиты: g – расчетная равномерно распределенная нагрузка, кН/м

Рис. 4. Эпюра изгибаемых моментов:
 l – расстояние в осях перекрытия

Рис. 5. Расчетное поперечное сечение балочной плиты:
 b – ширина расчетной полосы балочной плиты, мм;
 h и h_0 – высота поперечного сечения балочной плиты и ее рабочая высота, мм

Рис. 6. Продольный разрез балочной плиты:
 l_{01} и l_{02} – расчетные размеры пролетов, мм;
 $g_{н,дл}$ – нормативная длительная нагрузка, кН/м

Рис. 7. Расчетное поперечное сечение балочной плиты, схема обогрева стержней рабочей арматуры в условиях стандартного пожара: h и h_0 – высота поперечного сечения балочной плиты и ее рабочая высота, мм; a_y – глубина заложения рабочей арматуры балочной плиты, мм; A_s – площадь рабочей арматуры балочной плиты, мм²; x – высота сжатой зоны поперечного сечения, мм

Схему обогрева поперечного сечения монолитной железобетонной балочной плиты перекрытия (рис. 6, 7) в условиях пожара определяют в зависимости от фактического расположения частей здания, устройства подвесных потолков, расположения смежных конструкций.

Число и место расположения контрольных участков, в которых определяют показатели качества монолитной железобетонной балочной плиты перекрытия, определяют следующим образом. В монолитной железобетонной балочной плите перекрытия, имеющей одно расчетное сечение, контрольные участки располагают только в этом сечении. В плите, имеющей несколько расчетных сечений, контрольные участки располагают равномерно по поверхности с обязательным расположением части контрольных участков в расчетном сечении.

Для статически неопределимой монолитной железобетонной балочной плиты перекрытия расчетные сечения назначают в пролетах и на опорах. Расчетное сечение при этом находят по наибольшей ординате огибающей эпюры моментов.

Размеры монолитной железобетонной балочной плиты перекрытия проверяют с точностью до 1 мм; ширину трещин – с точностью до 0,05 мм.

Под глубиной залегания продольной рабочей арматуры понимают расстояние по нормали между поверхностью бетона монолитной железобетонной балочной плиты перекрытия и продольной осью рабочей арматуры.

Для сплошной плиты, армированной сетками или отдельными стержнями при одностороннем их обогреве ($m_0 = 1$), глубину залегания продольной рабочей арматуры ($a_{\min}$, мм) в поперечном сечении определяют по алгебраическому выражению

$$\alpha_{\min} = u + (d / 2), \quad (7)$$

где u – толщина защитного слоя бетона, мм; d – номинальный диаметр стержня, мм

Интенсивность силовых напряжений (J_{cs}) в растянутой арматуре в расчетном сечении и монолитной железобетонной плиты перекрытия определяют по уравнению

$$J_{cs} = \frac{g_{н,дл}}{g} \cdot \frac{A_{s,мп}}{A_s} \cdot \frac{R_s}{R_{su}} \leq 1,$$

где $g_{н,дл}$ и g – нормативная длительная и расчетная нагрузка, кН·м; A_s и $A_{s,мп}$ – площадь сечения по проекту фактическая и требуемая по расчету, мм²; R_s и R_{su} – расчетное и предельное сопротивление арматуры, МПа.

Выводы. Технологический результат выполненной работы заключается в следующем:

1. Исключение огневых испытаний плит перекрытий здания или его фрагмента.

2. Снижение трудоемкости оценки огнестойкости монолитной железобетонной балочной плиты.

3. Расширение технологических возможностей определения фактической огнестойкости различно нагруженных монолитных железобетонных балочных плит любых размеров по признакам потери несущей и теплоизолирующей способности.

4. Возможность проведения испытания балочных плит перекрытия на огнестойкость без нарушения функционального процесса в здании.

5. Снижение экономических затрат на испытание.

6. Сохранение эксплуатационной пригодности здания при обследовании и неразрушающих испытаниях балочных плит перекрытия.

7. Упрощение условий и сокращение сроков испытания балочных плит перекрытия на огнестойкость.

8. Повышение точности и экспрессивности испытания.

9. Определение реального ресурса балочной плиты перекрытия по огнестойкости с использованием комплекса единичных показателей качества.

10. Повышение точности определения степени огнезащиты продольной рабочей арматуры балочной плиты перекрытия, глубины залегания и степени ее обогрева в условиях пожара.

11. Упрощение учета влияния на предел огнестойкости балочной плиты перекрытия особенностей статической схемы ее работы.

12. Определение фактических пределов огнестойкости балочной плиты перекрытия здания в зависимости от конструктивных параметров, по признакам потери несущей и теплоизолирующей способности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ильин Н.А., Панфилов Д.А., Мордовский С.С. Сопротивление строительных конструкций зданий в условиях пожара. Самара: СамГТУ, 2018. 71 с.
2. Панфилов Д.А., Бородачев Н.А. Исследование влияния трещинообразования на прогибы изгибаемых железобетонных элементов // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре: материалы 70-й юбилейной Всероссийской научно-технической конференции / СГАСУ. Самара, 2013. С. 314–316.
3. Федоров В.С., Левитский В.Е., Молчанский И.С. Огнестойкость и пожарная опасность строительных конструкций. М.: АСВ, 2008. 408 с.

4. Федоров В.С., Колчунов В.И., Левитский В.Е. Противопожарная защита зданий: Конструктивные и планировочные решения. М.: АСВ, 2018. 176 с.

5. Мосалков И.Л., Плюснина Г.Ф., Фролов А.Ю. Огнестойкость строительных конструкций. М.: ЗАО «Спецтехника», 2001. 496 с.

6. Мордовский С.С., Ильин Н.А., Панфилов Д.А., Таланова В.Н., Бузовская Я.И. Метод моделирования железобетонной балки с двойной арматурой по прочности, деформации и огнестойкости // Градостроительство и архитектура. 2019. Т.9, № 1. С. 4–9. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.01.1.

7. Патент № 2650704 RU, МПК G 01 25/50. Способ оценки огнестойкости балочной конструкции / Ильин Н.А., Панфилов Д.А., Ильина В.Н., заяв. СамГТУ: 07.03.2017; опубл. 17.04.2018. Бюл. № 11.

8. Заявка на изобретение № 2019 000 000, МПК G01 № 25/50. Способ оценки огнестойкости двухпролетной железобетонной балки здания / Ильин Н.А., Панфилов Д.А., Колеснев Н.А., Силантьев И.А.

9. Ильин Н.А., Мордовский С.С., Панфилов Д.А. Теория и проектирование железобетонных конструкций. Самара: СамГТУ, 2018. 86 с.

10. Ильин Н.А., Панфилов Д.А. Оценка огнестойкости проектируемых железобетонных конструкций зданий: монография. Самара: СамГТУ, 2017. 186 с.

11. Патент РФ 2615048; G 01 № 25/50. Способ оценки огнестойкости железобетонной балочной конструкции здания / Ильин Н.А., Панфилов Д.А., заяв. СГАСУ: 05.11.2015, опубл. 03.04.2017. Бюл. № 10.

12. Бородачев Н.А. Курсовое проектирование железобетонных и каменных конструкций в диалоге с ЭВМ. 2-е изд., перераб. и доп. Самара, 2017. 256 с.

13. Ильин Н.А., Панфилов Д.А., Колеснев Н.А., Силантьев И.А. Оценка проектной огнестойкости двухпролетной железобетонной балки здания // Градостроительство и архитектура. 2019. Т.9, № 4. С. 16–21. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.04.3.

14. Ильин Н.А., Мордовский С.С., Потатыева Ю.А., Резяпкина К.В. Новый метод оценки огнестойкости железобетонной колонны круглого сечения // Градостроительство и архитектура. 2020. Т.10, № 3. С.9–14. DOI: 10.17673/Vestnik.2020.03.2.

REFERENCES

1. Ilyin N.A., Panfilov D.A., Mordovsky S.S. *Soprotivlenie stroitel'nykh konstrukcij zdaniy v usloviyah pozhara* [Resistance of building structures in fire conditions]. Samara: SamSTU, 2018. 71 p.
2. Panfilov D.A., Borodachev N.A. Investigation of the influence of cracking on the deflections of bending reinforced concrete elements. *Issledovanie vliyaniya treshchinoobrazovaniya na progiby izgibaemykh zhelezobetonnykh elementov* [Traditions and innovations in construction and architecture: materials of the 70th anniversary All-Russian scientific and technical conference following the results of research / SGASU]. Samara, 2013, pp. 314–316. (in Russian)

3. Fedorov V.S., Levitsky V.E., Molchansky I.S. *Ognestojkost' i požarnaya opasnost' stroitel'nykh konstrukcij* [Fire resistance and fire hazard of building structures]. Moscow: ASV Publ., 2008. 408 p.
4. Fedorov V.S., Kolchunov V.I., Levitsky V.E. *Protiropozharnaya zashchita zdaniy: Konstrukivnye i planirovochnye resheniya* [Fire protection of buildings: Structural and planning solutions]. Moscow: ASV, 2018. 176 p.
5. Yakovlev A.I. *Raschet ognestojkosti stroitel'nykh konstrukcij* [Calculation of fire resistance of building structures]. Moscow: Stroyizdat, 1988. 143 p.
6. Milovanov A.F. *Ognestojkost' zhelezobetonnykh konstrukcij* [Fire resistance of reinforced concrete structures]. Moscow: Stroyizdat, 1996. 304 p.
7. Patent No. 2650704 RU, IPC G 01 25/50. A method for assessing the fire resistance of a beam structure / Ilyin N.A., Panfilov D.A., Ilyina V.N., application. SamSTU: 03/07/2017; publ. 04/17/2018. Bul. no. 11.
8. Application for invention no. 2019 000 000, IPC G01 no. 25/50. Method for assessing the fire resistance of a two-span reinforced concrete beam of a building / Ilyin N.A., Panfilov D.A., Kolesnev N.A., Silantsev I.A.
9. Ilyin N.A., Mordovsky S.S., Panfilov D.A. *Teoriya i proektirovanie zhelezobetonnykh konstrukcij* [Theory and design of reinforced concrete structures]. Samara: SamSTU, 2018. 86 p.
10. Ilyin N.A., Panfilov D.A. *Ocenka ognestojkosti proektiruemykh zhelezobetonnykh konstrukcij zdaniy: monografiya* [Assessment of fire resistance of designed reinforced concrete structures of buildings: monograph]. Samara: SamSTU, 2017. 186 p.
11. RF patent 2615048; G 01 no. 25/50. Method for assessing the fire resistance of a reinforced concrete beam structure of a building / Ilyin N.A., Panfilov D.A., application. SGASU: 05.11.2015, publ. 04/03/2017. Bul. no. 10.
12. Borodachev N.A. *Kursovoe proektirovanie zhelezobetonnykh i kamennykh konstrukcij v dialoge s EVM* [Course design of reinforced concrete and stone structures in dialogue with a computer]. Samara, 2017. 256 p.
13. Ilyin N.A., Panfilov D.A., Kolesnev N.A., Silantsev I.A. Evaluation of Design Fire Resistance of a Reinforced Concrete Beam with Central Prop. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2019. Vol. 9, no. 4. Pp. 16–21. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2019.04.3.
14. Ilyin N.A., Mordovsky S.S., Potatuyeva Yu.A., Rezyapkina K.V. A New Method for Assessing the Fire Resistance of a Reinforced Concrete Column with a Circular Cross Section. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2020, Vol. 10, no. 3, Pp. 9–14. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2020.03.2.

Об авторах:

ИЛЬИН Николай Алексеевич

кандидат технических наук, доцент кафедры водоснабжения и водоотведения Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244 тел. (846)339-14-71

ПАНФИЛОВ Денис Александрович

кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой железобетонных конструкций Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244 E-mail: panda-w800i@yandex.ru

ЖИЛЬЦОВ Юрий Викторович

старший преподаватель кафедры железобетонных конструкций, заведующий лабораторией железобетонных конструкций «ОНИЛ ЖБК» Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

ILYIN Nikolay A.

PhD in Engineering Science, Associate Professor of the Water Supply and Waste Water Chair Samara State Technical University Academy of Architecture and Civil Engineering 443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 244, tel. (846) 339-14-71

PANFILOV Denis A.

PhD in Engineering Science, Head of the Reinforced Concrete Structures Chair Samara State Technical University Academy of Architecture and Civil Engineering 443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 244 E-mail: panda-w800i@yandex.ru

ZHILTSOV Yuriy V.

Senior Lecturer, SK ONIL RCB Samara State Technical University Academy of Architecture and Civil Engineering 443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 244

Для цитирования: Ильин Н.А., Панфилов Д.А., Жильцов Ю.В. Инновационный метод оценки огнестойкости монолитной железобетонной балочной плиты перекрытия здания // Градостроительство и архитектура. 2021. Т.11, № 4. С. 43–47. DOI: 10.17673/Vestnik.2021.04.5.

For citation: Ilyin N.A., Panfilov D.A., Zhiltsov Yu.V. Innovative Method for Assessing the Fire Resistance of a Monolithic Reinforced Concrete Beam Floor Slab of a Building. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2021. Vol. 11, no. 4. Pp. 43–47. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2021.04.5.