

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

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ОГНЕСТОЙКОСТИ СОСТАВНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ

METHOD OF EVALUATION OF THE FIRE RESISTANCE OF COMPOSITE BUILDING STRUCTURES

Изложена новая методика определения проектной огнестойкости составных (сталежелезобетонных) строительных конструкций зданий. Приведен усовершенствованный алгоритм решения пожарно-технической задачи в части экспресс-расчета проектной огнестойкости составных строительных конструкций. Разработана новая конструктивная форма составной сталежелезобетонной конструкции здания. Усовершенствована система действий по оценке огнестойкости ее элементов на уровне изобретений, внедренных в строительную практику. Приведены составляющие творческого результата научной работы и содержание технического эффекта, включая ресурсосбережение, при внедрении инновационного решения в практику огнезащиты и обеспечения огнестойкости перспективных строительных конструкций зданий.

Ключевые слова: здания и сооружения, составные строительные конструкции, неразрушающие огневые испытания, оценка пределов огнестойкости, технологический эффект, ресурсосбережение

Необходимость оценки показателей огнестойкости составных строительных конструкций возникает при реконструкции здания, усилении его частей и элементов, приведении огнестойкости в соответствие с требованиями современных строительных норм, при проведении экспертизы и восстановлении составных конструкций, поврежденных пожаром.

Оценка огнестойкости составной строительной конструкции здания обычно производится по результатам изучения последствий натурального пожара. Этот алгоритм включает выявление положения элементов конструкций в здании, оценку состояния составных конструкций путем осмотра и измерения, изготовление контрольных образцов бетона и арматуры, определение времени наступления предельного состояния по потере несущей способности составной конструкции, т. е. обрушения в условиях действия внешней нагрузки и теплового воздействия натурального пожара [1, с. 14–20].

Кроме того, существует метод оценки огнестойкости составной конструкции здания по результатам натурального теплового испытания фрагмента здания,

The article describes a new method for determining the design fire resistance of composite (steel-concrete) building constructions of buildings. The advanced algorithm of the decision of the fire-technical task in the part of express calculation of design fire resistance of composite building constructions is given. A new constructive form of composite reinforced concrete structure of the building has been developed and the system of actions for assessing the fire resistance of its elements at the level of inventions, which are implemented in building practice, has been improved. The components of the creative result of scientific work and the content of the technical effect, including resource saving, are introduced, with the introduction of an innovative solution in the practice of fire protection and providing fire resistance of perspective building constructions of buildings.

Keywords: buildings and constructions, composite structures, non-destructive firing tests, estimation of limits of fire resistance, technological effect, resource saving

в котором определяют факторы, влияющие на огнестойкость испытываемой конструкции и величину ее предела огнестойкости (ГОСТ Р 53309 – 2009 «Здания и фрагменты зданий. Метод натуральных огневых испытаний. Общие требования»).

Одним из методов оценки огнестойкости конструкций здания является испытание конструкции, включающее проведение технического осмотра, установление марки стали, вида бетона и арматуры элементов составной конструкции, выявление условия их крепления, определение времени наступления предельного состояния по признаку потери несущей способности элементов составной конструкции под испытательной нагрузкой [2, с. 112, 252–256; 3].

Наиболее близким методом того же назначения по оценке элементов составной строительной конструкции здания путем испытания является метод определения величины показателей огнестойкости каждого элемента составной строительной конструкции по длительности сопротивления высокотемпературному воздействию до потери несущей способности наименее огнестойкого элемента составной

конструкции [4]. Однако в этом методе испытания проводят на элементах составной строительной конструкции, представляющих только растянутый и сжатый пояса, без испытания огнестойкости гофростенки составной конструкции.

Предлагаемое авторами решение технической задачи состоит в установлении показателей пожарной безопасности здания в части гарантированной длительности сопротивления стальной гофростенки, растянутого и сжатого железобетонного пояса составной строительной конструкции в условиях стандартного теплового испытания; в оценке проектных пределов огнестойкости составной строительной конструкции при проектировании, строительстве или эксплуатации здания; в повышении точности и достоверности неразрушающих испытаний на огнестойкость [5].

Технологический эффект от использования экспресс-расчета огнестойкости составной строительной конструкции получают благодаря:

1) расширению диапазона применения способа оценки огнестойкости строительной конструкции, имеющей другой вид напряженного состояния элементов составной конструкции здания;

2) назначению комплекса основных параметров, влияющих на огнестойкость элементов составной конструкции;

3) вычислению интегральных параметров теплофизических и конструктивных характеристик элементов составной конструкции;

4) составлению математических моделей (описаний) процесса сопротивления нагруженных элементов составной конструкции стандартному огневому испытанию.

Технологический эффект при использовании предложенного метода решения задачи достигается тем, что в алгоритме оценки огнестойкости составной строительной конструкции здания путем испытания, особенность которого заключена в том, что оценку огнестойкости элементов составной конструкции проводят без натурального огневого воздействия неразрушающими методами испытаний, технический осмотр дополняют инструментальным измерением геометрических размеров составной конструкции, находят глубину залегания, условия нагрева и степень огнезащиты строительным раствором контрольной точки гофростенки, а также рабочей арматуры растянутого и сжатого железобетонного пояса составной конструкции, выявляют теплотехнические и конструктивные параметры и, используя их, определяют величину проектного предела огнестойкости составной строительной конструкции $F_{ur, min}$ мин, по длительности сопротивления тепловому воздействию до потери несущей способности наименее слабого по огнестойкости элемента $f_{ur, min}$ – составной строительной конструкции по условию

$$F_{ur} = f_{ur, min}. \quad (1)$$

Длительность сопротивления от начала стандартного теплового воздействия до потери несущей способности растянутого железобетонного пояса составной конструкции ($f_{ur, 1}$ мин) определяют, используя аналитическое уравнение

$$f_{ur, 1} = (2,15 \cdot |\ln J_{cs}|)^{6,6/n} \cdot e^C \cdot K_1 / (425/t_{cr})^{6,6}, \quad (2)$$

где J_{cs} – интенсивность силовых напряжений в продольной рабочей арматуре растянутого пояса (0,1 ÷ 1,0); C – степень огнезащиты бетоном рабочей арматуры, см; n – эмпирический показатель изменения свойства арматурной стали в условиях теплового испытания; t_{cr} – критическая температура для арматурной стали, °C [5, 6].

Интенсивность силовых напряжений в продольной рабочей арматуре растянутого пояса составной строительной конструкции от испытательной нагрузки на огнестойкость определяют по уравнению

$$J_{cs} = (A_{s, mp} / A_s) \cdot (R_s / R_{su}) \cdot (N_g / N) \leq 1, \quad (3)$$

где A_s и $A_{s, mp}$ – соответственно площади арматуры, фактически установленной в сечении растянутого пояса и требуемой по расчету на прочность, мм²; R_s и R_{su} – расчетное и предельное сопротивление арматуры растяжения, МПа ($R_{su} = R_{st} / 0,9$); N и N_p – расчетная продольная сила и усилие от испытательной нагрузки на огнестойкость, кН [7].

Усилие от испытательной нагрузки в растянутом поясе составной строительной конструкции определяют по выражению

$$N_p = N_{\partial \lambda} / \gamma_{fn}, \quad (4)$$

где $N_{\partial \lambda}$ – длительная часть расчетной нагрузки, кН; γ_{fn} – коэффициент надежности по нагрузке [7].

Степень огнезащиты продольной рабочей арматуры растянутого пояса составной конструкции определяют по уравнению

$$C = 1,44 \cdot m_0 \cdot a_{min} / D_{\partial \lambda}^{0,8}, \quad (5)$$

где m_0 – показатель условий нагрева арматуры в сечении растянутого пояса (0,25 – 1,0); a_{min} – минимальная глубина залегания арматуры по оси координат, мм; $D_{\partial \lambda}$ – показатель термодиффузии защитного слоя бетона, мм²/мин [7].

При несимметричном расположении арматурных стержней относительно биссектрисы угла прямоугольного поперечного сечения железобетонного элемента составной конструкции показатель условий нагрева арматуры (m_0) при двухстороннем обогреве (при $a_x \leq a_y$) определяют, используя показательную функцию

$$m_0 = 0,5 \cdot (a_y / a_x)^{0,5} \leq 1, \quad (6)$$

где a_x и a_y – соответственно глубина залегания арматурных стержней от обогреваемых граней элемента по осям координат поперечного сечения, мм (при $a_x > a_y$ – в функции (6) принимают обратное соотношение величины осевых расстояний, т. е. a_x / a_y) [7].

Глубину залегания стержней рабочей арматуры по осям координат (осевые расстояния $a_{x,y}$) определяют по уравнению

$$a_{x,y} = u_{x,y} + 0,5 \cdot d_s, \quad (7)$$

где $a_{x,y}$ – толщина защитных слоев соответственно по осям x или y , мм; d_s – номинальный диаметр продольных арматурных стержней, мм [7].

Величину показателя термодиффузии защитного слоя бетона ($D_{ам}$, мм²/мин) при осредненной температуре 450 °С определяют по аналитическому уравнению

$$D_{ам} = 60 \cdot 10^{-3} \cdot (\lambda_0 \pm 0,45 \cdot b) / [p_c \cdot (C_0 + 0,45 \cdot d + \omega/20)], \quad (8)$$

где λ_0 и C_0 – показатели теплопроводности бетона, Вт/(м·°С), и удельной теплоемкости, кДж/(кг·°С), при нормальной температуре (20 ± 5 °С); b и d – термические коэффициенты теплопроводности и теплоемкости бетона; p_c и ω – плотность бетона в сухом состоянии, кг/м³, и его влажность, % по массе [3].

Интегральный показатель безопасности растянутого железобетонного пояса составной строительной конструкции определяют по выражению

$$K_1 = \gamma_n \cdot m_{об} \cdot k_{сн} \cdot k_{ф}, \quad (9)$$

где γ_n – коэффициент надежности растянутого пояса по назначению здания; $m_{об}$ – показатель условий обогрева периметра сечения элемента составной строительной конструкции; $k_{сн}$ – показатель сплошности сечения элемента составной конструкции; $k_{ф}$ – показатель номинального диаметра рабочей арматуры [7].

Длительность сопротивления сжатого железобетонного пояса составной строительной конструкции $f_{ур,2}$, мин, от начала стандартного теплового воздействия до потери несущей способности определяют по выражению

$$f_{ур,2} = 5 \cdot B^2 \cdot (1 - J_{\sigma 0})^2 \cdot (1 - 0,6 \cdot \alpha_{\mu 3}) \cdot K_2 / (D_{ам}^2 \cdot R_{ам}^{0,25}), \quad (10)$$

где B – наименьший размер прямоугольного поперечного сечения сжатого пояса, мм; $J_{\sigma 0}$ – интенсивность силовых напряжений в сечении сжатого пояса (0 – 1); $\alpha_{\mu 3}$ – степень армирования сжатого пояса; K_2 – интегральный показатель безопасности сжатого пояса; $D_{ам}$ – показатель термодиффузии защитного слоя бетона, мм²/мин; $R_{ам}$ – нормативная прочность бетона сопротивлению на осевое сжатие, МПа [7].

Интенсивность силовых напряжений в сечении сжатого железобетонного пояса составной строительной конструкции ($J_{\sigma 0}$) от испытательной нагрузки на огнестойкость определяют по формуле

$$J_{\sigma 0} = k_3 \cdot N_{\rho 0} / N_{инт} \quad (11)$$

где k_3 – коэффициент условий закрепления сжатого пояса (0,8 – 0,9); $N_{\rho 0}$ – испытательная нагрузка при

оценке огнестойкости сжатого пояса, кН; $N_{инт}$ – разрушающая сжатый пояс продольная сила до начала теплового испытания, кН [7].

Степень армирования сжатого пояса ($\alpha_{\mu 3}$) вычисляют, используя выражение

$$\alpha_{\mu 3} = (A_s / A) \cdot (R_{сч} / R_{ам}), \quad (12)$$

где A_s и A – соответственно площади рабочей арматуры и всего бетона в сечении сжатого пояса, мм²; $R_{сч}$ и $R_{ам}$ – соответственно расчетное сопротивление арматуры сжатию и нормативное сопротивление бетона осевому сжатию, МПа (СП 63. 13330. 2012 «СНиП 52 – 01 – 2003. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения»).

Интегральный показатель безопасности сжатого пояса (K_2) определяют, используя алгебраическое уравнение

$$K_2 = \gamma_n \cdot m_{об} \cdot k_{сн} \cdot k_a \cdot \phi, \quad (13)$$

где γ_n – коэффициент надежности составной строительной конструкции по назначению здания; $m_{об}$ – показатель условий обогрева периметра сечения сжатого пояса; $k_{сн}$ – показатель сплошности сечения сжатого пояса; k_a – показатель глубины залегания рабочей арматуры; ϕ – коэффициент продольного изгиба сжатого пояса [7].

Длительность сопротивления тепловому воздействию стальной гофростенки $f_{ур,3}$, мин, с учетом огнезащиты определяют по уравнению

$$f_{ур,3} = 48 \cdot (1 - J_{ос,3})^3 \cdot e^c + r_{us,сн} \quad (14)$$

где $J_{ос}$ – интенсивность силовых напряжений в металле гофростенки (0,1 ± 0,05).

Степень огнезащиты металла гофростенки вычисляют по уравнению

$$C = 1,45 \cdot m_0 \cdot \delta_0 / D_{ам}^{0,8} \quad (15)$$

где m_0 – показатель условий нагрева контрольной точки стальной гофростенки; при симметричном двухстороннем подводе тепла $m_0 = 0,5$; δ_0 – толщина огнезащитного покрытия гофростенки, мм; $D_{ам}$ – показатель термодиффузии материала покрытия, мм²/мин [8].

Длительность сопротивления тепловому воздействию гофростенки без его огнезащиты $r_{us,сн}$ определяют по аналитическому уравнению

$$r_{us,сн} = 6 \cdot \{(A_{s,сн} / p_{01}) + 18,33 \cdot [(1 - J_{ос,сн})^{1/2} - 0,5]\}, \quad (16)$$

где $A_{s,сн}$ – площадь металла сечения гофростенки, см²; p_{01} – периметр обогрева сечения гофростенки, см; $J_{ос,сн}$ – интенсивность силовых напряжений в сечении гофростенки (0,1 ± 0,05) [9, 10].

На рис. 1 изображена геометрическая схема составной строительной конструкции с параллельными поясами (а) и схема усилий в ее элементах (б).

На рис. 2 и 3 изображена расчетная схема сжатого / растянутого железобетонного пояса составной конструкции к определению несущей способности (а) и к оценке огнестойкости (б).

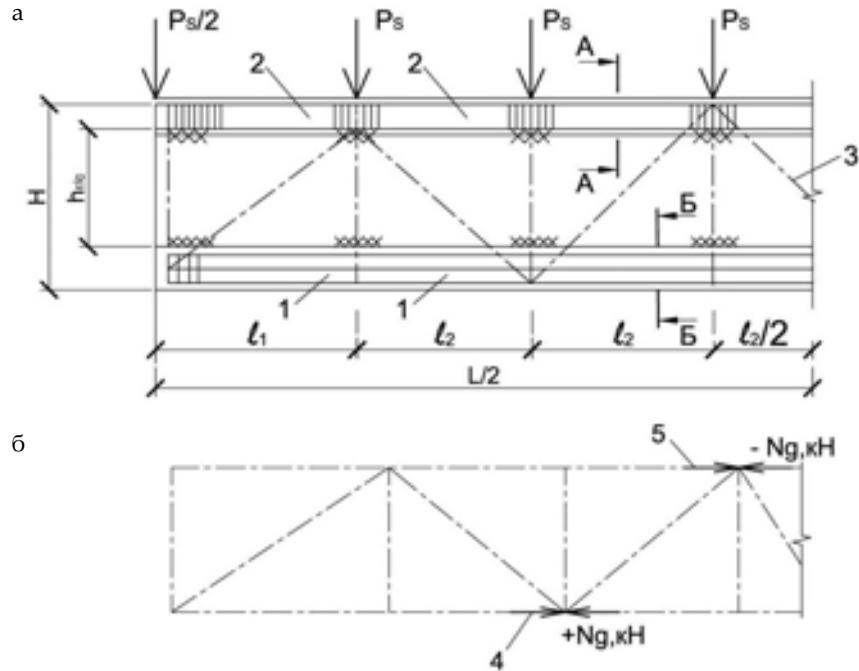


Рис. 1. Геометрическая схема составной строительной конструкции с параллельными полками (а) и схема усилий в элементах составной конструкции (б):
 1 – нижняя железобетонная полка; 2 – верхняя железобетонная полка; 3 – стальная гофростенка;
 $h_{г/с}$ – высота гофростенки; H – высота составной конструкции; P_s – нагрузка;
 4 – усилие растяжения $+Ng, кН$; 5 – усилие сжатия $-Ng, кН$

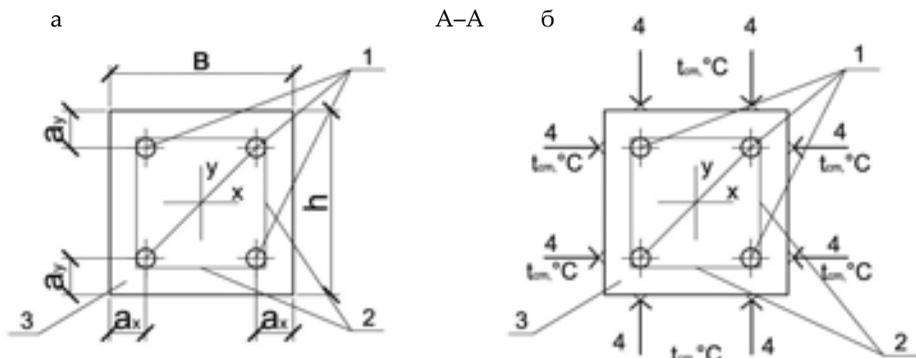


Рис. 2. Расчетная схема сжатого железобетонного пояса (сечения А-А) при оценке:
 а – прочности; б – огнестойкости элемента: 1 – рабочая сжатая арматура; 2 – хомуты; 3 – бетон защитного слоя;
 4 – направление теплового воздействия $t_{ст}, °C$

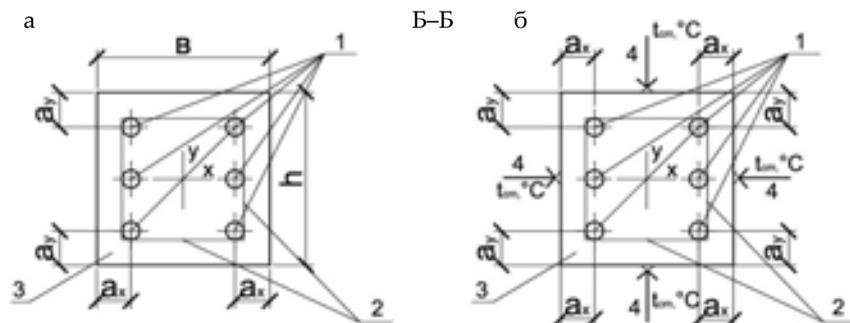


Рис. 3. Расчетная схема растянутого железобетонного пояса (сечения Б-Б) при оценке:
 а – прочности; б – огнестойкости элемента: 1 – рабочая растянутая арматура; 2 – хомуты; 3 – бетон защитного слоя;
 4 – направление теплового воздействия $t_{ст}, °C$

Выводы. 1. Получено математическое описание процесса сопротивления составных строительных конструкций здания тепловому воздействию стандартного пожара, аналитические уравнения которого составляют основу алгоритма экспресс-расчета проектной огнестойкости сталежелезобетонных конструкций.

2. Разработана новая конструктивная форма составной сталежелезобетонной конструкции здания и усовершенствована система действий по оценке огнестойкости ее элементов на уровне изобретений, которые внедрены в строительную практику [3 – 6].

3. Творческий результат научно-исследовательской работы представляют:

- вариант преобразованной теории расчета огнестойкости несущей строительной конструкции здания;

- создание нового метода по расчету ее проектной огнестойкости вследствие предложенных аналитических функций (2), (10), (14).

4. Технологический эффект от использования экспресс-расчета огнестойкости составной строительной конструкции получают благодаря:

- расширению диапазона применения способа оценки огнестойкости строительной конструкции, имеющей другой вид напряженного состояния элементов составной конструкции здания;

- приближению условий испытаний элементов составной конструкции к реальным условиям их эксплуатации;

- повышению точности результатов испытаний при использовании статистического метода оценки единичных показателей качества элементов составной конструкции;

- назначению комплекса основных параметров, влияющих на огнестойкость элементов составной конструкции;

- вычислению интегральных параметров теплофизических и конструктивных характеристик элементов составной конструкции;

- составлению математических моделей (описаний) процесса сопротивления элементов составной конструкции стандартному огневому испытанию.

Полученные результаты научно-исследовательской работы рекомендуются для практического применения в проектных организациях и могут быть использованы для усовершенствования нормативной документации по пожарной безопасности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ильин Н.А. Техническая экспертиза зданий, поврежденных пожаром. М.: Стройиздат, 1983. 200 с.

2. Огнестойкость зданий / В.П. Бушев, В.А. Пчелинцев, В.С. Федоренко, А.И. Яковлев. М.: Стройиздат, 1970. 261 с.

3. Патент 2 282 848 РФ, МПК 7 G 01 № 25/50. Способ определения огнестойкости растянутых элементов железобетонных конструкций здания / Н.А. Ильин, А.А.

Сургачев, В.В. Тюрников, С.В. Эсмонт; заявл. СГАСУ 06.09.04; опубл. 28.08.06. Бюл. № 24.

4. Заявка на изобретение № 2015 136 088 МПК G01 № 25/50. Способ оценки огнестойкости железобетонной фермы здания / Н.А. Ильин, Д.А. Панфилов; заявл. СГАСУ 25.08.2015 г., приоритет 28.08.2015.

5. Заявка на изобретение № 2016 000 000 МПК G 01 №25/50. Способ оценки огнестойкости составной конструкции зданий / Н.А. Ильин, Д.А. Панфилов; заявл. СГАСУ: 2016 г.

6. Патент № 2 320 982 RU, МПК G 01 № 25/50. Способ определения огнестойкости стальных огнезащитных балок здания / Н.А. Ильин, С.С. Ведерников, заявл. СГАСУ 04.07.2006; опубл. 27.03.2008. Бюл. № 9.

7. Определение огнестойкости железобетонных конструкций зданий. Методика: СТО СГАСУ 21.13.35 – 15 / сост.: Н.А. Ильин, Д.А. Панфилов; СГАСУ. Самара, 2015. 82 с.

8. Определение огнестойкости стальных конструкций зданий. Методика: СТО СГАСУ 21.13.34 – 16 / сост. Н.А. Ильин; СГАСУ. Самара, 2016. 76 с.

9. Зубков В.А., Лукин А.О. Экспериментальные исследования влияния технологических и конструктивных параметров на несущую способность металлических балок с гофрированной стенкой // Вестник МГСУ. 2013. № 2. С. 37 – 46.

10. Лукин А.О. К уточненному расчету напряженно-деформированного состояния балок с гофрированной стенкой // Строительная механика и расчет сооружений. 2013. №5. С. 10 – 17.

Об авторах:

ПАНФИЛОВ Денис Александрович

кандидат технических наук, доцент кафедры строительных конструкций

Самарский государственный технический университет
Академия строительства и архитектуры
443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194,
тел. (909) 343-19-86

ИЛЬИН Николай Алексеевич

кандидат технических наук, профессор кафедры водоснабжения и водоотведения

Самарский государственный технический университет
Академия строительства и архитектуры
443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194,
тел. (846)339-14-71

ЖИЛЬЦОВ Юрий Викторович

старший преподаватель кафедры строительных конструкций, заведующий ОНИЛ ЖБК

Самарский государственный технический университет
Академия строительства и архитектуры
443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194,
тел. (908) 386-35-21

БЛИНКОВА Екатерина Валерьевна

ассистент кафедры строительных конструкций

Самарский государственный технический университет
Академия строительства и архитектуры
443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194,
тел. (919) 809-44-46

PANFILOV Denis A.

PhD in Engineering Science, Associate Professor of the Building Structures Chair

Samara State Technical University
Academy of Architecture and Civil Engineering
443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194,
tel. (909) 343-19-86

ILYIN Nikolay A.

PhD in Engineering Science, Professor of the Water Supply and Wastewater Chair

Samara State Technical University
Academy of Architecture and Civil Engineering
443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194,
tel. (846)339-14-71

ZHILTSOV Yury V.

Senior Lecturer of the Building Structures Chair, Head of the Laboratory of Reinforced Concrete Structures

Samara State Technical University
Academy of Architecture and Civil Engineering
443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194,
tel. (908) 386-35-21

BLINKOVA Ekaterina V.

Assistant of the Building Structures Chair

Samara State Technical University
Academy of Architecture and Civil Engineering
443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194,
tel. (919) 809-44-46

Для цитирования: Панфилов Д.А., Ильин Н.А., Жильцов Ю.В., Блинкова Е.В. Методика оценки огнестойкости составных строительных конструкций зданий // Градостроительство и архитектура. 2018. Т.8, №3. С. 12-17. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.03.3. For citation: Panfilov D.A., Ilyin N.A., Zhiltsov Yu.V., Blinkova E.V. Method of Evaluation of the Fire Resistance of Composite Building Structures// Urban Construction and Architecture. 2018. V. 8, 3. Pp. 12-17. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.03.3.