

Н.А. ИЛЬИН
Д.А. ПАНФИЛОВ
Е.В. ИЛЬДИЯРОВ
А.О. ЛУКИН

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЖАРНО-ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОМПЛЕКСНОЙ ОБЛИЦОВКИ СТАЛЬНОЙ БАЛКИ С ГОФРИРОВАННОЙ СТЕНКОЙ

DEFINING FIRE AND TECHNICAL CHARACTERISTICS OF A STEEL BEAM WITH CORRUGATED WEB AND ITS COMPLEX LINING

В работе представлен метод определения требуемых показателей конструктивной огнезащиты несущего стержня стальной балки с гофрированной стенкой, выполненного в виде составного сварного двутавра, при использовании крупноразмерной листовой и плитной облицовки. Показаны результаты патентных исследований по проблеме огнезащиты стальных конструкций, приведены аналоги, дан анализ их недостатков, выявлен уровень техники; приведены составляющие технического эффекта применения новой техники (устройства, изобретения, полезной модели), изложены мероприятия по достижению технологического эффекта; указаны особенности применения метода оценки пожарно-технических характеристик комплексной облицовки стальных конструкций, указаны особенности оценки показателей элементов составного двутавра; приведены новые аналитические уравнения для расчета показателей огнестойкости стальных элементов и методика определения геометрических и теплотехнической характеристики комплексной огнезащитной облицовки; приведен пример расчета по разработанному алгоритму.

Ключевые слова: огнестойкость здания, стальные балки, конструктивная огнезащита, комплексная облицовка, пожарно-техническая характеристика, геометрические размеры элементов облицовки, требуемые показатели термодиффузии материалов, технологический эффект, ресурсоэнергосбережение

Массивные стальные конструкции здания при высокотемпературном воздействии в условиях пожара быстро (спустя 5 – 20 мин) утрачивают свою несущую способность, обрушаются сами и способствуют обрушению других конструкций здания.

This new technical solution introduced in the paper is related to the area of fire safety and involves the method of determining required indicators of constructional fire-proof characteristics of a steel beam with corrugated web which in itself is a composite welded I-beam with large sheet and plate lining. The paper also delivers results of patent research on the problem of steel constructions fire protection and describes other similar technical solutions. The authors analyze shortcomings of these solutions and their technical level, identify tasks and objectives of their new technical solution and demonstrate technical effects of the new technology (such as devices, inventions, utility models). Further in the paper activities and measures to achieve the proper technological effect are outlined and application peculiarities of fire and technical characteristics of the integrated steel lining are indicated. The researchers also stress specifics of the I-beam components performance evaluation and put forward new analytical equations to calculate fire resistance characteristics of steel elements as well as a new methodology for determining geometric and heat-technical characteristics of complex fire-proof lining. There is also an example of calculations according the developed algorithm given in the paper.

Keywords: fire resistance of a building, steel beams, constructive fire protection, complex lining, fire and technical characteristics, geometric dimensions of lining elements, required indicators of materials thermal diffusion, technological effect, resource-and-energy saving

В технической литературе [1] описывается приближенный метод оценки пожарно-технических характеристик комплексной облицовки стальной двутавровой балки здания, облицовку которой представляют в виде двух керамических скорлуп

толщиной 60 – 65 мм, вплотную уложенных к стенке и нижней полке двутавра. Недостатком этого метода является то, что элементы облицовки выполняют из тяжелого материала – керамического камня толщиной 60 – 65 мм плотностью 1200 – 1400 кг/м³; это значительно увеличивает массу огнезащитной облицовки; наличие внутренних пустот (25 – 30 %) в керамическом камне благоприятствует быстрому прогреву облицовки до критических температур нагрева сварного двутавра и снижению предела огнестойкости на 20 – 25 %; изделия облицовки в виде скорлуп из керамического камня строительная промышленность в настоящее время не выпускает.

Кроме того, в научно-технической литературе [2] известен метод определения пожарно-технических характеристик стальной двутавровой балки здания, в котором огнезащитную облицовку из крупно-размерных листов и плит устанавливают на отnose в виде зазора не менее 25 мм между огнезащитной облицовкой и гранями защищаемого сварного двутавра; каркас огнезащитной облицовки выполняют в виде рамы, состоящей из стальных продольных и поперечных элементов высотой 40–75 мм; крепление стальных элементов каркаса между собой осуществляют самонарезающими винтами 5×25 и 5×45. Однако в этом методе применяется значительное число элементов каркаса и вследствие этого повышается расход металла на изготовление каркаса для огнезащитной облицовки; при проектировании пустот и зазоров между стенкой и полками сварного двутавра и плитами защитной облицовки принимают увеличенные размеры сечения облицованной балки (площадь сечения возрастает на 40–45 %; расход материалов облицовки – на 30–35 %); сокращается проектный предел огнестойкости огнезащищенной стальной балки на 25–30 %; снижается надежность крепления элементов крупноразмерной листовой и плитной облицовки; уменьшается коррозионная стойкость стального двутавра; увеличивается погрешность в назначении геометрических размеров стальных элементов каркаса облицовки, а также размеров и теплотехнических характеристик листовой и плитной облицовки.

Наиболее близким к предлагаемому авторскому решению является метод определения пожарно-технических характеристик комплексной облицовки стальной балки здания, включающий определение вида стального проката и геометрических характеристик стального несущего стержня стальной балки, вид стального профиля для каркаса комплексной облицовки; нахождение интенсивности силовых напряжений в металле; выявление видов материалов, составляющих комплексную облицовку, установление показателей термодиффузии материалов облицовки; определение степени огнезащиты стального несущего стержня стальной балки комплексной облицовкой; нахождение требуемого нормами предела огнестойкости стальной балки здания [3]. Недостат-

ками этого метода является большая погрешность в назначении геометрических размеров стальных элементов каркаса комплексной облицовки, а также геометрических и теплофизических характеристик листовой и плитной облицовки, повышенный расход металла при выполнении стальных элементов каркаса облицовки балки в виде прокатных уголков и швеллеров, размеры прокатных профилей принимаются по конструктивным соображениям, а не по расчету; не предусматривается возможность демонтажа и выполнения работ по ремонту или усилению элементов конструкции, повторного нанесения антикоррозионных составов на стальные конструкции.

Задачами (целями) предлагаемого метода являются: повышение действенности и экономичности огнезащиты стальной балки здания, снижение погрешности при назначении геометрических размеров стальных элементов каркаса комплексной облицовки, а также геометрических и теплофизических характеристик элементов листовой и плитной облицовки стальной балки; снижение расхода стали и материалов листовой и плитной облицовки, повышение ресурсоэнергосбережения в процессе проведения огнезащиты стальной балки здания.

Технологический эффект¹ заключается в следующем:

- 1) повышение надежности крепления крупноразмерной листовой и плитной огнезащитной облицовки балки с гофрированной стенкой и элементов каркаса для нее;
- 2) сокращение числа элементов каркаса для огнезащитной облицовки (пожарного пояса); снижение массы металла и материалов облицовки;
- 3) снижение погрешности при проектировании геометрических размеров стальных элементов каркаса для облицовки, а также размеров листовой и плитной облицовки для оптимальной огнезащиты;
- 4) повышение ресурсоэнергосбережения материалов комплексной облицовки стальной балки в зависимости от требуемой степени огнестойкости здания; применение тонкостенных гнутых швеллеров для каркаса облицовки (взамен прокатных) приводит к экономии металла до 10 %;
- 5) проектирование геометрических размеров гнутых швеллеров принято по результатам теплотехнического расчета;
- 6) появление возможности демонтажа облицовки и выполнения работ по ремонту или усилению элементов конструкции, повторного нанесения антикоррозионных составов на стальные конструкции;

¹ Технологический эффект – результат решения поставленных задач (целей), на достижение которых направлена совокупность действий способа конструктивной огнезащиты.

- 7) производство работ с применением современных материалов облицовки стальной балки возможно как при положительных, так и при отрицательных температурах окружающей среды;
- 8) повышение надежности работы огнезащитной стальной балки в процессе нормальной эксплуатации здания и в условиях пожара;
- 9) упрощение монтажа элементов каркаса пожарного пояса и огнезащитой облицовки стальной балки;
- 10) повышение жесткости соединения сварного двутавра с листами и плитами облицовки и сопротивляемости огнезащитной облицовки механическим воздействиям;
- 11) повышение коррозионной стойкости стального несущего стержня балки с гофрированной стенкой и ремонтпригодности огнезащитной облицовки;
- 12) снижение трудоемкости монтажа элементов каркаса и элементов огнезащитной облицовки;
- 13) сокращение сварочных работ и мокрых строительных процессов.

Особенностью предлагаемого метода является то, что вначале выявляют наиболее слабый в статическом и тепловом отношении стальной элемент сварного двутавра, находят контрольные точки в сечении стального элемента сварного двутавра, назначают элементы усиленный полок сварного двутавра в виде гнутых профилей – швеллеров, уголков – каркаса термозащитных поясов стальной балки, затем вычисляют приведенную толщину металла T_{sr} , мм, – стального элемента сварного двутавра с усилением, используя уравнение

$$T_{sr} = A_s / P_0, \quad (1)$$

где A_s – площадь поверхности металла сечения стального элемента сварного двутавра, мм²; P_0 – периметр обогрева стального элемента сварного двутавра, мм.

Время сопротивления r_{us} , мин, тепловому воздействию стального элемента сварного двутавра без огнезащиты вычисляют по аналитическому выражению

$$r_{us} = 6 \times \{ T_{sr} + 18,33 \times [(1 - J_{\sigma x})^{1/2} - 0,5] \}, \quad (2)$$

где T_{sr} – приведенная толщина металла элемента сварного двутавра, см; $J_{\sigma x}$ – интенсивность силовых напряжений в стальном элементе сварного двутавра (0,1 – 1,0).

Требуемую степень огнезащиты стальной балки сварного двутавра C , см, с комплексной облицовкой вычисляют по логарифмическому уравнению

$$C = \ln[0,4 \times (R_{ин} - r_{us})^n], \quad (3)$$

где $R_{ин}$ – требуемый предел огнестойкости несущей балки здания, мм; r_{us} – время сопротивления тепло-

вому воздействию стального элемента сварного двутавра без его огнезащиты, мин; $n = 1$ – для полок, $n = r_{us, min} / r_{us}$, 3 – для гофрированной стенки.

Требуемую толщину материала облицовки δ_{mp} , мм, стального элемента сварного двутавра определяют по показательному уравнению

$$\delta_{mp} = 0,7 \times C \times D_{\text{эм}}^{0,8} / m_0, \quad (4)$$

где C – требуемая степень огнезащиты стального элемента сварного двутавра; $D_{\text{эм}}$ – показатель термодиффузии материала огнезащитной облицовки, мм²/мин; m_0 – показатель условий нагрева контрольной точки стального элемента сварного двутавра (0,5 – 1,0).

Приведенную толщину b_r , мм, комплексной облицовки стального элемента сварного двутавра вычисляют, используя уравнение

$$b_r = \delta_{\text{эм}} + (\delta_{r, mp} - \delta_{\text{эм}}) \times D_{\text{эм}} / D_{\text{эм}}, \quad (5)$$

где $\delta_{\text{эм}}$ и $\delta_{r, mp}$ – толщина слоя эталонного материала и требуемая толщина приведенной комплексной облицовки, мм; $D_{\text{эм}}$ и $D_{\text{эм}}$ – показатель термодиффузии эталонного и сравниваемого с ним материала облицовки, мм²/мин.

Толщину материала облицовки стального элемента сварного двутавра, сравниваемого с эталонным материалом, $\delta_{\text{нл}}$, мм, вычисляют по алгебраическому уравнению

$$\delta_{\text{нл}} = (\delta_{r, mp} - \delta_{\text{эм}}) \times D_{\text{эм}} / D_{\text{эм}}, \quad (6)$$

где $\delta_{r, mp}$ и $\delta_{\text{эм}}$ – толщина требуемого приведенного слоя и эталонного слоя покрытия, мм; $D_{\text{эм}}$ и $D_{\text{эм}}$ – показатель термодиффузии сравниваемого слоя и эталонного слоя комплексной облицовки, мм²/мин.

Конструктивную толщину комплексной облицовки стального элемента сварного двутавра, $b_{\text{кп}}$, мм, определяют по выражению

$$b_{\text{кп}} = \delta_{\text{эм}} + \delta_{\text{нл}}, \quad (7)$$

где $\delta_{\text{эм}}$ и $\delta_{\text{нл}}$ – толщина слоя эталонного материала и материала, сравниваемого с ним, мм.

В качестве наиболее слабого в статическом и тепловом отношении стального элемента сварного двутавра принимают элемент, имеющий наименьшую длительность сопротивления тепловому воздействию без его огнезащиты $r_{us, min}$, мин.

Контрольную точку в поперечном сечении полки сварного двутавра определяют как направленно перемещенную точку размещения средней температуры неравномерно прогретого по сечению стального элемента сварного двутавра.

При расположении полки сварного двутавра параллельно оси x абсциссу (a_x) и ординату (a_y) определяют соответственно по уравнениям

$$a_x = \delta_x + (\delta_x \times \beta / 2)^{0,5 \times (\beta / H)^{0,25}} \leq B / 2; \quad (8)$$

$$a_y = \delta_y, \quad (9)$$

где δ_x и δ_y – толщина облицовки покрытия полки сварного двутавра соответственно по оси x и y , мм; a_x и a_y – глубина заложения контрольной точки сечения сварного двутавра по оси x и y , мм; β – ширина полки сварного двутавра, мм; B и H – ширина и высота поперечного сечения облицованной балки, мм.

Контрольную точку в поперечном сечении гофрированной стенки сварного двутавра при симметричном двухстороннем подводе тепла назначают в середине ее поперечного сечения ($x = d/2$, мм).

Показатель условий нагрева m_0 стального элемента сварного двутавра при трехстороннем подводе

тепла к контрольной точке поперечного сечения элемента определяют по аналитическому уравнению

$$m_0 = (a_{y1} / \delta_x)^{0,5} / [1,5 + (a_{y1} / a_{y2})^4], \quad (10)$$

при двухстороннем несимметричном подводе тепла к контрольной точке – по степенному уравнению

$$m_0 = 0,5 \times (a_y / \delta_x)^{0,5}, \quad (11)$$

где a_y , a_{y1} и a_{y2} – ординаты контрольной точки сечения полки, мм; δ_x – толщина облицовки по оси x , мм.

Схема стальной балки с гофрированной стенкой приведена на рис. 1; схема сварного двутавра стальной балки с элементами усиления – на рис. 2; схема огнезащитного сварного двутавра стальной балки с гофрированной стенкой – на рис. 3.

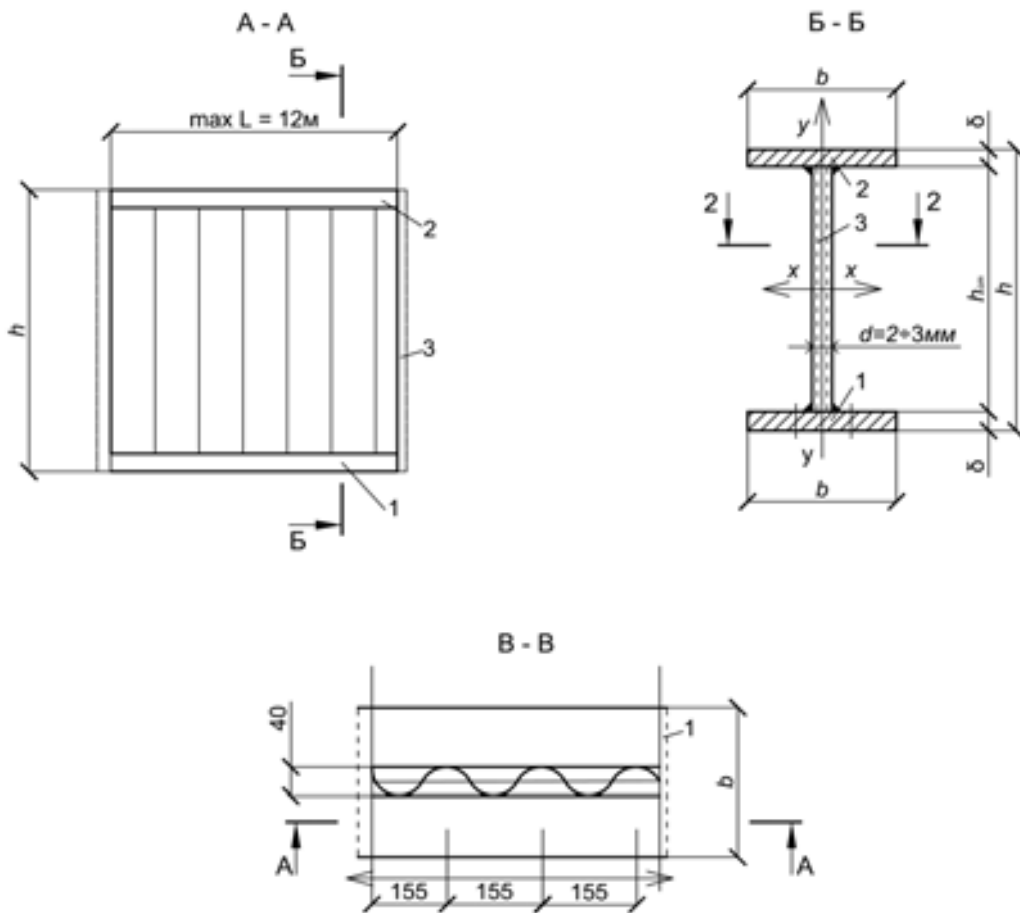


Рис. 1. Схема стальной балки с гофрированной стенкой: сечение А-А – продольный разрез; сечение Б-Б – поперечный разрез; сечение В-В – план стальной балки (без огнезащиты): 1 – растянутая полка; 2 – сжатая полка; 3 – гофрированная стенка; h и b – высота и ширина сварного двутавра стальной балки; d – толщина гофрированной стенки, мм; δ – толщина полки стальной балки, мм

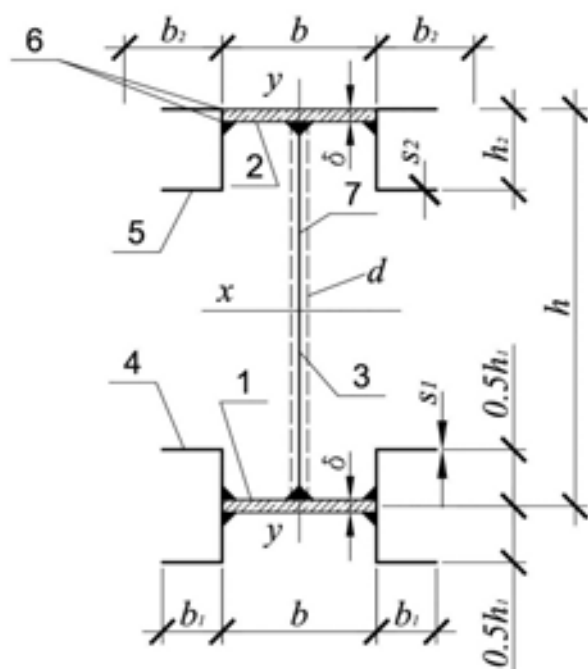


Рис. 2. Сварной двутавр стальной балки, полки которого оборудованы гнутыми стальными швеллерами – элементы каркаса термоизоляционного пояса (обогрев поперечного сечения стальной балки с трех граней): 1 – растянутая полка; 2 – сжатая полка; 3 – гофрированная стенка; 4 – швеллеры растянутой полки; 5 – швеллеры сжатой полки; 6 – сварной шов; 7 – антикоррозионное покрытие сварного двутавра; $h_1 \times b_1 \times s_1$ – высота, ширина и толщина гнутого швеллера, прикрепленного к растянутой полке сварного двутавра стальной балки; $h_2 \times b_2 \times s_2$ – высота, ширина и толщина гнутого швеллера, прикрепленного к сжатой полке сварного двутавра стальной балки; d – толщина гофрированной стенки, мм

Выводы. Использование предложенной методики оценки пожарно-технических характеристик комплексной облицовки стальных гофробалок существенно повышает действенность (эффективность) и экономичность огнезащиты гофробалок здания, а также ресурсосбережение при производстве строительных работ. Геометрические и теплофизические характеристики комплексной облицовки стальных элементов каркаса пожарного пояса определяют по расчету в зависимости от требуемого предела огнестойкости несущих конструкций здания. Применение тонкостенных гнутых швеллеров и уголков для каркаса пожарного пояса (взамен прокатных) приводит к экономии металла до 10 %. Показаны составля-

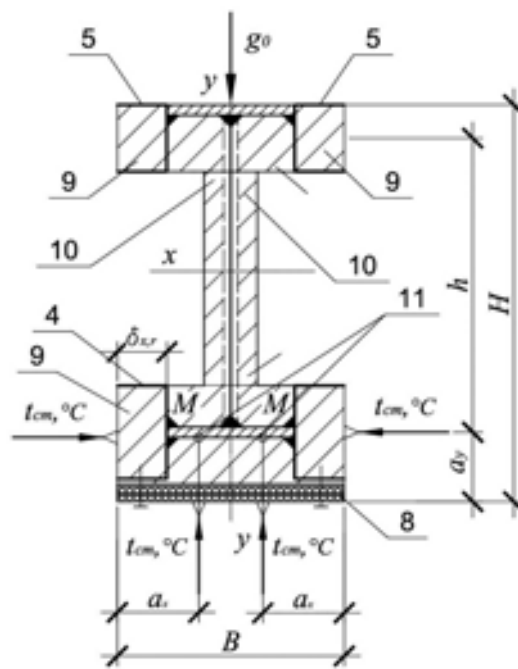


Рис. 3. Огнезащищенный сварной двутавр стальной балки (полки которого оборудованы гнутыми стальными швеллерами – каркас термозащитного пояса): 1 – растянутая полка; 2 – сжатая полка; 3 – гофрированная стенка; 4 – швеллеры растянутой полки; 5 – швеллеры сжатой полки; 6 – сварной шов; 7 – антикоррозионное покрытие сварного двутавра; 8 – гипсокартонные листы; 9 – минватная плита термозащитного пояса полки сварного двутавра; 10 – минватная плита термозащитного пояса гофрстенки; 11 – контрольные точки растянутой полки сварного двутавра; t , ст $^{\circ}\text{C}$ – направление подвода тепла в условиях огневого испытания; g_0 – линейная испытательная нагрузка на несущую балку с гофрированной стенкой, кН; $H \times B$ – общая высота и ширина балки с гофрированной стенкой с огнезащитной облицовкой, мм; a_x и a_y – глубина заложения контрольной точки поперечного сечения сварного двутавра балки с гофрированной стенкой по осям x и y , мм; $\delta_{x,r}$ – толщина огнезащитной облицовки сварного двутавра балки с гофрированной стенкой, мм

ющие технологического эффекта нового технического решения и мероприятия по его достижению.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Ройтман М.Я.* Пожарная профилактика в строительном деле/ ВИПТШ, М., 1975. 525 с., (гл. 5 Огнезащита металлических конструкций; §5.2. Повышение огнестойкости стальных конструкций: рис. 5.2(б), с.116–117).
2. *Романенков И.Г., Левитес Ф.А.* Огнезащита строительных конструкций. М.: Стройиздат, 1991. 320с. (гл.4 Конструктивные способы огнезащиты; п.4.2. – Крупногабаритные листовые, плитные и рулонные облицовки; рис. 8, с.131–133).

3. Патент № 2 522 110 (2006.1) МПК Е 04 В 1/94. Способ огнезащиты двутавровой балки здания / Н.А. Ильин, А.П. Шепелев, П.Н. Славкин, Р.Р. Ибатуллин, заяв. СГАСУ 25.10.2012; опубл. 27.04.2014, Бюл. №12.

4. Патент № 2161793, МПК-7 G 01 № 25/50. Способ определения огнестойкости изгибаемых железобетонных конструкций здания / Н.А. Ильин, М.Б. Пирогов, заяв. СГАСУ: 22.02.99; опубл. 10.01.01, Бюл. № 1.

5. Патент № 2 282 847 Способ определения огнестойкости облицованных металлических колонн здания / Н.А. Ильин, А.С. Ковалевский, Е.Ю. Пахомов, А.В. Черепанов; заяв. СГАСУ 06.09.2004; опубл. 27.08.2006, Бюл. № 24.

6. Патент № 2 320 982 Способ определения огнестойкости стальных огнезащищенных балок/ Н.А. Ильин, С.С. Ведерников; заяв. СГАСУ 04.07.2006; опубл. 27.03.2008, Бюл. № 9.

7. Патент № 2 381 491 Способ оценки параметров пожара в здании / Н.А. Ильин, С.С. Ведерников; заяв. СГАСУ 20.10.08; опубл. 10.02.10, Бюл. № 4.

8. Патент № 2 451 925 Способ изготовления образца для испытания огнезащитных покрытий / Н.А. Ильин, В.В. Фрыгин, А.П. Шепелев и др.; заяв. СГАСУ 30.06.2010; опубл. 27.05.2012, Бюл. № 1.

9. Ильин Н.А. Проектирование пожарной защиты зданий и сооружений: учебное пособие. Самара, 2013. 48 с.

10. Масалков И.Л., Плюшина Г.Ф., Фролов А.Ю. Огнестойкость строительных конструкций. М.: ЗАО «Спецтехника», 2001. 483 с.

11. Ройтман М.Я. Противопожарное нормирование в строительстве. 2-е изд. М.: Стройиздат, 1985. 590 с.

12. Пилогин А.П. Обеспечение взрывоустойчивости зданий с помощью предохранительных конструкций. М., 2003.

13. Собоурь С.В. Огнезащита строительных материалов и конструкций: справочник. М.: Спецтехника, 2008. 108 с.

14. Яковлев А.И. Расчёт огнестойкости строительных конструкций. М.: Стройиздат, 1988. 143 с.

Об авторах:

ИЛЬИН Николай Алексеевич

кандидат технических наук, профессор кафедры водоснабжения и водоотведения Самарский государственный технический университет Архитектурно-строительный институт 443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194, тел. (846) 339 14 71

ПАНФИЛОВ Денис Александрович

кандидат технических наук, доцент кафедры строительных конструкций Самарский государственный технический университет Архитектурно-строительный институт 443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194, тел. (846) 333 38 44
E-mail: panda-w800i@yandex.ru

ИЛЬДИЯРОВ Евгений Викторович

кандидат технических наук, доцент кафедры металлических и деревянных конструкций Самарский государственный технический университет Архитектурно-строительный институт 443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194, E mail: ildevgenii@mail.ru

ЛУКИН Алексей Олегович

ассистент кафедры сопротивления материалов и строительной механики Самарский государственный технический университет Архитектурно-строительный институт 443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194, тел. (846) 339-14-48
E-mail: a.o.lukin@rambler.ru

ILYIN Nikolay A.

PhD in Engineering Science, Professor of the Water Supply and Sewerage Chair Samara State Technical University Institute of Architecture and Civil Engineering 443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194, tel.(846) 339-14-71

PANFILOV Denis A.

PhD in Engineering Science, Associate Professor of the Building Structures Chair Samara State Technical University Institute of Architecture and Civil Engineering 443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194, tel.(846) 333-38-44
E mail: panda-w800i@yandex.ru

ILDIYAROV Evgeny V.

PhD in Engineering Science, Associate Professor of the Metal and Wooden Structures Chair Samara State Technical University Institute of Architecture and Civil Engineering 443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194 E mail: ildevgenii@mail.ru

LUKIN Alexey O.

Assistant of the Construction Mechanics and Resistance of Materials Chair Samara State Technical University Institute of Architecture and Civil Engineering 443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194, tel. (846) 339-14-30
E-mail: a.o.lukin@rambler.ru

Для цитирования: Ильин Н.А., Панфилов Д.А., Ильдияров Е.В., Лукин А.О. Определение пожарно-технических характеристик комплексной облицовки стальной балки с гофрированной стенкой // Градостроительство и архитектура. 2017. Т.7, №3. С. 4-9. DOI: 10.17673/Vestnik.2017.03.1.

For citation: Ilyin N.A., Panfilov D.A., Ildiyarov E.V., Lukin A.O. Defining fire and technical characteristics of a steel beam with corrugated web and its complex // Urban Construction and Architecture. 2017. V.7, 3. Pp. 4-9. DOI: 10.17673/Vestnik.2017.03.1.