

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

КОНСТРУКТИВНАЯ ОГНЕЗАЩИТА СТАЛЬНЫХ ГОФРОБАЛОК ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

CONSTRUCTIONAL FIRE PROTECTION OF STEEL SIN BEAMS OF BUILDINGS AND STRUCTURES

Предложена методика установления показателей пожарной безопасности здания в части гарантированной длительности сопротивления стальных огнезащищённых гофробалок в условиях стандартного огневого испытания, оценки проектных пределов огнестойкости стальных огнезащищённых гофробалок при проектировании, строительстве или эксплуатации здания, снижении экономических затрат при испытании стальных конструкций на огнестойкость. Технологический эффект достигается проведением огневых испытаний стальной конструкции неразрушающими методами. Оценка огнестойкости огнезащищённых элементов гофробалки (гофрированной стенки, нижней и верхней полки) определена путем выявления наименее слабого в части огнестойкости элемента сварного двутавра.

Ключевые слова: здания и сооружения, стальные конструкции, огнезащитное покрытие, стандартное огневое испытание, элементы сварного двутавра: гофрированная стенка, полки двутавра, интенсивность силовых напряжений, неразрушающие испытания, степень огнезащиты металла

Стальную балку с гибкой стенкой, в которой используют закривающую работу гофрированной стенки, относят к новым видам конструкций благодаря ее эффективной конструктивной форме. Стальная балка с гофрированной стенкой имеет повышенную устойчивость, и вследствие значительного уменьшения толщины стенки достигается экономия стали на балку. Однако проблема конструктивной огнезащиты таких балок в наше время не решена [1–3].

В результате научных исследований существующих методов огнезащиты и оценки огнестойкости эффективных стальных балочных конструкций в АСИ СамГТУ проведен тематический патентный поиск, показаны уровень развития техники, область применения и новизна объекта исследований, установлены аналоги и прототип [1] нового технического решения [4].

Потребность оценки показателей огнестойкости стальных огнезащищённых гофробалок возникнет

The paper proposes an original method of determining of indicators of building fire safety in regards to guaranteed resistance time for steel fire-retardant SIN beams in conditions of standard fire testing, evaluation of fire-resistance design limits for steel fire-retardant SIN beams during buildings design, construction and management, and cost saving during testing of steel structures for fire-resistance. Operational benefits are obtained by non-destructive testing. Fire-resistance of fire-retardant elements of SIN beam (corrugated wall, upper and lower beam flanges) is evaluated by revealing of the most strong element of welded I beam.

Keywords: buildings and structures, steelwork, fire protective covering, standard fire testing, welded I beam elements: corrugated wall, I beam flanges, force stresses intensity, non-destructive testing, metal fire protection degree

при реконструкции здания или сооружения (далее – здания), усилении его частей, приведении фактической огнестойкости стальных балок в соответствие с современными требованиями федерального закона: ФЗ №123-08 «Технический регламент требования пожарной безопасности» (с изм. 2012) при проведении экспертизы и/или восстановлении стальных конструкций здания после пожара.

В качестве аналога предполагаемого метода действий по оценке огнестойкости стальной огнезащищённой гофробалки здания путём испытания принят метод, включающий проведение технического осмотра, инструментальное измерение геометрических характеристик стальной балки при изгибе; выявление условий опирания и крепления балки, схемы обогрева поперечного сечения; установление вида огнезащитного материала и марки стали балки, характеристик металла сопротивлению на изгиб и растяжение; определение величины испытательной нагрузки

на стальную балку, схему её приложения, интенсивности силовых напряжений в металле в опасном сечении стальной балки. При этом оценку огнестойкости стальной огнезащищённой гофробалки здания проводят по разработанной программе [5].

Однако использование номограммы для оценки огнестойкости стальной огнезащищённой гофробалки здания даёт результаты расчёта с большой погрешностью, в ряде случаев требуется дополнительное построение графиков номограммы; кроме того, при построении номограммы не учитывают показатели надёжности стальной балки по назначению и уровню ответственности, а также затруднено составление программы для расчёта проектного предела огнестойкости гофробалки на ЭВМ.

Творческий результат включает в себя следующее: исключение натуральных огневых испытаний стальных конструкций в здании или его фрагменте; снижение трудоёмкости определения огнестойкости стальных конструкций; расширение технологических возможностей оценки проектной огнестойкости различно нагруженных стальных гофробалок любых размеров и возможность сопоставления полученных результатов с испытаниями аналогичных стальных конструкций здания; снижение экономических затрат на испытание; упрощение условий и сокращение сроков испытания стальных конструкций на огнестойкость; повышение точности и экспрессивности испытания; использование конструктивных параметров для оценки огнестойкости стальных термозащищённых гофробалок и упрощение математического описания процесса сопротивления нагруженных стальных конструкций; учёт реального ресурса огнезащищённой гофробалки по огнестойкости путем использования комплекса единичных показателей их качеств; увеличение достоверности определения толщины огнезащиты и условий обогрева стальной гофробалки в условиях пожара; уточнение единичных показателей качества конструкций, влияющих на их огнестойкость [4].

Технический эффект достигается тем, что в предложенном методе оценки огнестойкости стальных огнезащищённых балок здания получают вследствие неразрушающего испытания, включающего проведение технического осмотра, инструментальное измерение геометрических характеристик гофробалки; выявление схемы обогрева сечения; установление вида материала огнезащиты и марки стали гофробалки, характеристик металла сопротивлению на изгиб и растяжение; определение величины испытательной нагрузки на гофробалку. При этом оценку огнестойкости стальных огнезащищённых гофробалок здания проводят без высокотемпературного воздействия неразрушающими методами испытаний, используя комплекс единичных пока-

зателей качества стальных конструкций. Особенностью метода является то, что вначале выявляют геометрические характеристики составных элементов сварного двутавра: гофрированной стенки, нижней и верхней полки, а также стальных элементов усиления; устанавливают периметр обогрева сечения каждого составного элемента сварного двутавра; вычисляют интенсивность силовых напряжений в сечении гофрированной стенки, нижней и верхней полки сварного двутавра; определяют длительность сопротивления огневому воздействию каждого составного элемента сварного двутавра без учёта огнезащиты; устанавливают глубину залегания направленно перемещённой контрольной точки нахождения средней температуры неравномерно прогретой по сечению полки сварного двутавра; вычисляют показатели условий нагрева контрольных точек полки и гофрированной стенки сварного двутавра гофробалки с защитным покрытием в условиях стандартного огневого испытания; находят степень огнезащиты составного элемента сварного двутавра; затем, принимая составные элементы сварного двутавра гофробалки в качестве составных элементов раскосной фермы с параллельными поясами, определяют длительности сопротивления огневому воздействию гофрированной стенки, нижней и верхней полки сварного двутавра с учётом их огнезащиты; выявляют наименее слабый в статическом и тепловом отношении составной элемент сварного двутавра по минимальной длительности сопротивления огневому воздействию гофрированной стенки, нижней или верхней полки сварного двутавра с учётом огнезащиты; проектный предел огнестойкости $F_{ur, мин}$, стальной огнезащищённой гофробалки по признаку потери несущей способности определяют по длительности сопротивления огневому воздействию составного элемента сварного двутавра наиболее слабого в статическом и тепловом отношении $r_{us, мин}$, *мин*; то есть

$$F_{ur} = r_{us, мин} \quad (1)$$

В сечении *полки* сварного двутавра интенсивность силовых напряжений от испытательной нагрузки в условиях огневого испытания J_{os} вычисляют по уравнению

$$J_{os} = M_p / (W_n \cdot R_{yn}), \quad (2)$$

где M_p – изгибающий момент в опасном сечении от испытательной нагрузки на огнестойкость, *кН·м*; W_n – момент сопротивления поперечного сечения полки сварного двутавра относительно его горизонтальной оси, *см³*; R_{yn} – нормативное сопротивление растяжению и сжатию по пределу текучести стали, *МПа* [2, 6].

В сечении *полки* сварного двутавра интенсивность силовых напряжений вычисляют, используя условие

$$J_{os} = 1 / n_o, \quad (3)$$

где n_o – интегральный коэффициент запаса несущей способности по огнестойкости стальной огнезащитной гофробалки здания.

В сечении гофрированной стенки сварного двутавра интенсивность силовых напряжений принимают равной

$$J_{os,3} = 0,07 \pm 0,03. \quad (4)$$

Гофрированная стенка эффективно защищена от огня, поэтому не рассматривается критерий разрушения стенки при воздействии огня в приопорной зоне балки.

Длительность сопротивления огневому воздействию составного элемента сварного двутавра гофробалки без учёта его термозащиты $r_{us,i}$, мин, определяют по аналитическому уравнению

$$r_{us,i} = 6 \cdot \{(A_{s,i} / P_{o,i}) + 18,33 \cdot [(1 - J_{os,i})^{1/2} - 0,5]\}, \quad (5)$$

где $A_{s,i}$ – площадь сечения составного стального элемента сварного двутавра, $см^2$; $P_{o,i}$ – периметр обогрева сечения составного элемента, $см$; $J_{os,i}$ – интенсивность силовых напряжений в сечении составного элемента (0,1–1,0).

Показатель условий нагрева контрольной точки полки сварного двутавра гофробалки с огнезащитным покрытием в условиях огневого испытания (при $a_x \leq a_y$) вычисляют по степенной функции

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

где a_y – толщина огнезащитного покрытия полки сварного двутавра по оси y , $мм$; a_x – глубина залегания направленно-перемещённой контрольной точки нахождения средней температуры неравномерно нагретой по сечению полки сварного двутавра, которую вычисляют используя степенную функцию

$$a_x = \delta_x + (\delta_x \cdot b / 2)^n, \quad (7)$$

где δ_x – толщина огнезащитного покрытия полки сварного двутавра по горизонтальной оси, $мм$; n – показатель степени, вычисляемый по степенной функции

$$n = 0,5 \cdot (b / H)^{0,25}, \quad (8)$$

где b и H – соответственно ширина полки сварного двутавра и высота стальной огнезащитной гофробалки, $мм$ [3, 7].

Степень огнезащиты составного элемента сварного двутавра C , $см$, находят из аналитического выражения

$$C = 1,45 \cdot m_{oi} \cdot \delta_{o,min} / D_{bm}^{0,8}, \quad (9)$$

где m_{oi} – показатель условий нагрева контрольной точки составного элемента сварного двутавра (0,5–1,0); $\delta_{o,min}$ – минимальная толщина защитной облицовки по одной из осей координат, $мм$; D_{bm} – показатель термодиффузии материала облицовки, $мм^2/мин$ [8, 9].

Длительность сопротивления огневому воздействию $f_{ur,i}$, мин, гофрированной стенки, нижней и верхней полки сварного двутавра с учётом огнезащиты определяют по аналитическому уравнению

$$f_{ur,i} = 48 \cdot (1 - J_{os,i})^3 \cdot e^C + r_{us,i}, \quad (10)$$

где $J_{os,i}$ – интенсивность силовых напряжений в металле составного элемента сварного двутавра (0,1–1,0); C – степень огнезащиты составного элемента сварного двутавра, $см$; $r_{us,i}$ – длительность сопротивления огневому воздействию составного элемента сварного двутавра гофробалки без учёта его огнезащиты, мин; $e = 2,718$ – натуральное число.

Проектный предел огнестойкости F_{ur} , мин, стальной огнезащитной гофробалки здания по признаку потери несущей способности выявляют используя условие

$$F_{ur} = f_{ur,min} \quad (11)$$

где $f_{ur,min}$ – длительность сопротивления огневому воздействию составного элемента сварного двутавра, наименее слабого в статическом и тепловом отношении, мин.

Схемы обогрева сечений испытуемых стальных огнезащитных гофробалок в условиях пожара определяют в зависимости от фактического расположения частей здания [10–12].

Схема стальной гофробалки изображена на рис. 1: сечение А – А – продольный разрез; сечение Б – Б – поперечный разрез; сечение В – В – план гофробалки: 1 – нижняя полка; 2 – верхняя полка; 3 – гофрированная стенка; h и b – высота и ширина сварного двутавра, $мм$; d и δ_s – толщина гофрированной стенки и толщина полки, $мм$.

Сечение сварного двутавра стальной гофробалки, оборудованной элементами каркаса термозащитных поясов полок при четырехгранном обогреве сечения балки в условиях пожара, изображено на рис. 2.

Сечение гофробалки с заполнением термозащитных поясов при обогреве сечения балки с четырёх граней в условиях пожара изображено на рис. 3: здесь 1 – нижняя полка; 2 – верхняя полка; 3 – гофрированная стенка; 4 – швеллер, приваренный к нижней полке; 5 – швеллер, приваренный к верхней полке; 6 – сварной шов; 7 – антикоррозионное покрытие; 8 – термозащитная плита; 9 – гипсокартонные листы ГКЛ; 10 – укрывной материал по сетке; 11 – контрольная точка полки; 12 – контрольная точка гофрированной стенки; t_{cm} , °C – направление высокой температуры. Сечение сварного двутавра гофробалки, оборудованной элементами каркаса огнезащитных поясов при обогреве сечения балки с трёх граней в условиях пожара изображено на рис. 4.

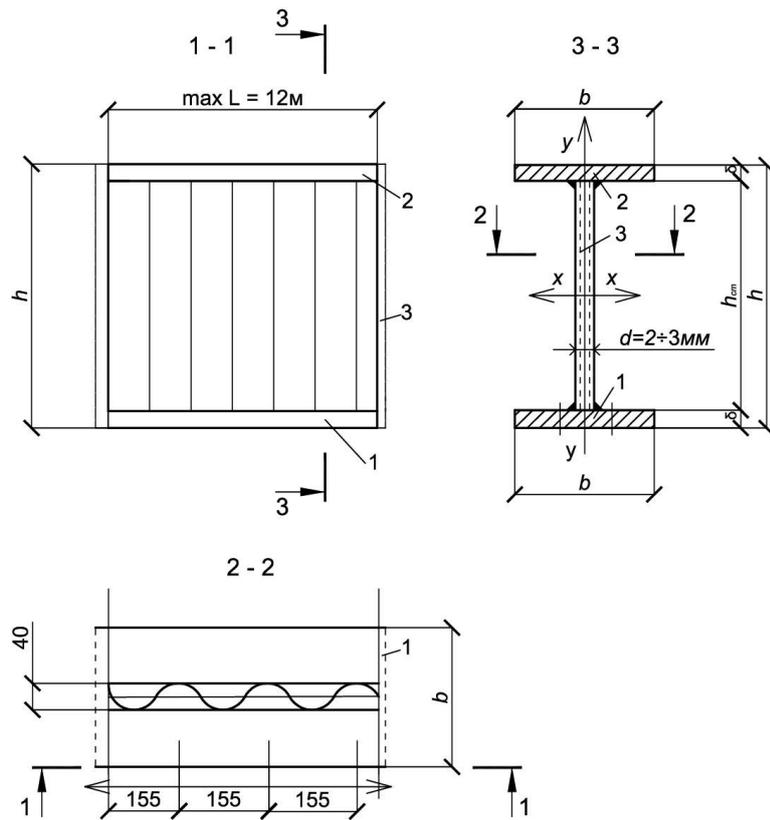


Рис. 1. Схема составной стальной балки с гофрированной стенкой: вид сверху, продольный и поперечный разрезы

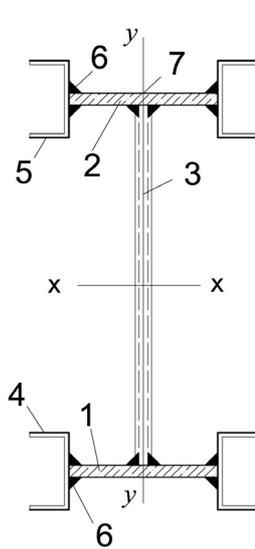


Рис. 2. Сечение сварного двутавра стальной балки с гофрстенкой и элементами каркаса огнезащитных поясов

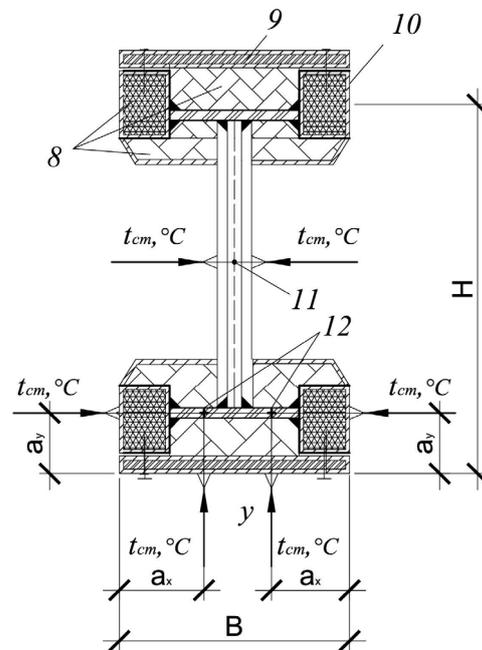


Рис. 3. Сечение стальной балки с гофрированной стенкой с заполнением термозащитных поясов; обогрев балки с четырех граней

Сечение гофробалки с заполнением защитных поясов при обогреве огнезащищённой балки с трех граней в условиях пожара изображено на рис. 5.

Последовательность системы действий при оценке огнестойкости стальной огнезащищённой гофробалки здания состоит в следующем.

Сначала назначают комплекс единичных показателей качества каждого элемента (гофростенки, нижней и верхней полок), влияющих на огнестойкость. Выявляют условия закрепления концов и опасные сечения элементов сварного двутавра гофробалки. Затем оценивают единичные показатели качества стальной огнезащищённой гофробалки и их интегральные параметры и, наконец, по ним находят проектный предел огнестойкости испытуемой гофробалки.

Под визуальным осмотром понимают проверку состояния стальной огнезащищённой гофробалки, включающей выявление условий закрепления и обогрева элемента сварного двутавра гофробалки, определение материала конструктивной защиты стальных гофробалок от нагрева при пожаре (бетон, гипсокартонные листы, гипсовые плиты, вермикулитовые плиты, минеральная вата, штукатурка и т.п.), форму сечения составного элемента сварного двутавра гофробалки, их геометрические размеры, марку стали, испытательную нагрузку.

К основным единичным показателям качества стальных огнезащищённых гофробалок, обеспечивающих огнестойкость, относятся: показатель термодиффузии и плотность материала огнезащиты, показатель условий нагрева составного элемента

сварного двутавра стержня стальной гофробалки, толщина защитного покрытия, марка стали, предел её текучести, критическая температура, приведённая толщина металла составного элемента сварного двутавра, интенсивность напряжений в сечении составного элемента сварного двутавра стальной гофробалки без огнезащиты [8, 9, 13–16].

Проверяемыми геометрическими размерами являются: толщина защитного покрытия, ширина и высота поперечного сечения составного элемента сварного двутавра стальной гофробалки. Опасные сечения элементов стальной гофробалки назначают в местах наибольших моментов и поперечных сил от действия испытательной нагрузки. Размеры элементов стальной конструкции проверяют с точностью до ± 1 мм [7, 8].

Пример. Дано: стальная гофробалка здания с комплексной облицовкой стального несущего стержня – сварного двутавра: высота гофрированной стенки $h_{rc} = 1000$ мм, толщиной $d_{rc} = 2$ мм; размеры полки $b \times \delta_s = 300 \times 20$ мм, $A_{s,n} = 60$ см²; $A_{rc} = 20$ см²; высота двутавра $h = 1040$ мм; обогрев сечения гофробалки – с трёх сторон; тепловой режим стандартного огневого испытания, подвод тепла к контрольной точке сечения нижней полки – с двух граней; к верхней полке – с одной грани; к гофростенке – с двух сторон; стальные элементы каркаса огнезащиты для полки сварного двутавра – четыре гнутых швеллера: $h_1 \times b_1 \times s_1 = 120 \times 60 \times 4$ мм ($A_{s1} = 4 \cdot 9 = 36$ см²); площадь сечения стали полки сварного двутавра

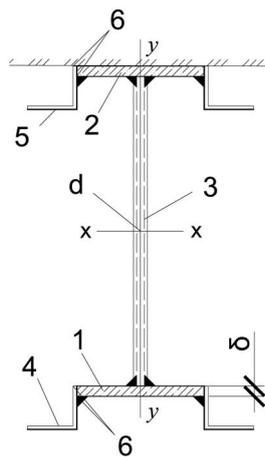


Рис. 4. Сечение составной балки с гофрированной стенкой с элементами каркасов термозащитных поясов; обогрев гофростенки с двух сторон

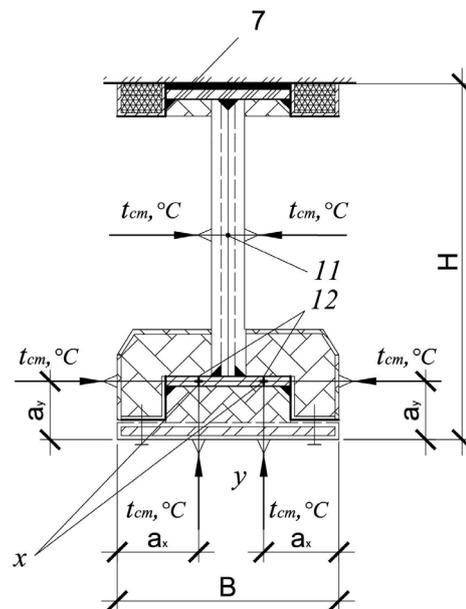


Рис. 5. Сечение составной балки с гофрированной стенкой; обогрев нижней полки контрольных точек с трех граней

$A_s = A_{s,n} + A_{s1} = 60 + 36/2 = 78 \text{ см}^2$; нормативная интенсивность силовых напряжений в металле полок сварного двутавра $J_{os1} = J_{on} = 0,625$; требуемый предел огнестойкости несущей балки I (первой) степени огнестойкости здания $R_{ин} = 120 \text{ мин}$.

Защитная облицовка нижней полки сварного двутавра:

а) два гипсокартонных листа (материал принят за эталон) толщиной 12,5 мм каждый: $\delta_{зкл} = \delta_{эм} = 25 \text{ мм}$; показатель термодиффузии $D_{зкл} = D_{эм} = 19 \text{ мм}^2/\text{мин}$;

б) минеральная вата – плита П100 (плотность $\gamma_{пл} = 100 \text{ кг/м}^3$); $D_{вм} = 33,53 \text{ мм}^2/\text{мин}$, толщина $\delta_{пл} = h_1 / 2 = 120 / 2 = 60 \text{ мм}$; толщина минеральной ваты, приведённая к эталонному материалу (ГКЛ):

$$\delta_{нл,r} = \delta_{пл} \cdot D_{эм} / D_{вм} = 60 \cdot 19 / 33,53 = 34 \text{ мм};$$

расчётная толщина защитной облицовки по оси ординат равна:

$$a_y = D_{эм} + \delta_{нл,r} = 25 + 34 = 59 \text{ мм};$$

расчётная высота стальной гофробалки с защитной облицовкой равна:

$$H_r = h + a_y = 1040 + 59 = 1100 \text{ мм};$$

толщина защитного слоя (для торцов нижней полки сварного двутавра по горизонтальной оси), приведённого к эталонному материалу, равна:

$$\delta_{x,r} = \delta_{нл,r} = b_1 \cdot D_{эм} / D_{вм} = 60 \cdot 19 / 33,53 = 34 \text{ мм};$$

огнезащита гофрированной стенки – лёгкий строительный цементно-перлитовый раствор толщиной 44 мм ($\gamma = 800 \text{ кг/м}^3$; $D_{вм} = 15,52 \text{ мм}^2/\text{мин}$; среднее значение толщины защитного слоя $\delta_{o,min} = 15 \text{ мм}$).

Определить проектный предел огнестойкости стальной гофробалки с комплексной защитной облицовкой $F_{ур, мин}$, по признаку потери несущей способности в условиях стандартного огневого испытания.

Решение:

1) Периметр обогрева нижней полки сварного двутавра вычисляются по линейному уравнению (обогрев с четырех граней):

$$P_{o1} = 2 \cdot (b + \delta_s) - d = 2 \cdot (30 + 2) - 0,2 = 63,8 \text{ см};$$

то же, верхней полки (обогрев с трех граней):

$$P_{o2} = 2 \cdot \delta_s + b - d = 2 \cdot 2 + 30 - 0,2 = 33,8 \text{ см};$$

то же, гофрированной стенки (обогрев с двух граней):

$$P_{o3} = 2 \cdot h_{cm} = 2 \cdot 100 = 200 \text{ см}.$$

2) Длительность сопротивления огневому воздействию нижней полки сварного двутавра гофробалки без учёта защиты определяют по уравнению (5):

$$\begin{aligned} r_{us,1} &= 6 \cdot \{(A_{s1} / P_{o1}) + 18,33 \cdot [(1 - J_{os1})^{1/2} - 0,5]\} = \\ &= 6 \cdot \{(78 / 63,6) + 18,33 \cdot [(1 - 0,625)^{1/2} - 0,5]\} = \\ &= 6 \cdot (1,23 + 2,06) = 13,1 \text{ мин}; \end{aligned}$$

то же, верхней полки ($J_{os2} = 0,625$):

$$\begin{aligned} r_{us,2} &= 6 \cdot \{(A_{s1} / P_{o2}) + 20,6\} = 0,6 \cdot [(78 / 33,8) + 20,6] = \\ &= 6 \cdot (2,31 + 2,06) = 14 \text{ мин}; \end{aligned}$$

то же, гофрированной стенки ($J_{os3} = 0,1$):

$$\begin{aligned} r_{us,3} &= 6 \cdot \{(A_{s1} / P_{o3}) + 18,33 \cdot [(1 - J_{os3})^{1/2} - 0,5]\} = \\ &= 6 \cdot \{(20 / 200) + 18,33 \cdot [(1 - 0,1)^{1/2} - 0,5]\} = \\ &= 6 \cdot (0,1 + 8,2) = 49,4 \text{ мин}. \end{aligned}$$

3) Глубину залегания контрольной точки сечения нижней полки сварного двутавра, направленно перемещённой по горизонтальной оси, вычисляют используя степенные функции (7) и (8):

$$a_x = \delta_x + (\delta_x \cdot b / 2)^n;$$

$$\text{при } n = 0,5 \cdot (b / H)^{0,25} = 0,5 \cdot (300 / 1100)^{0,25} = 0,36;$$

$$\begin{aligned} a_x &= 34 + (34 \cdot 300 / 2)^{0,36} = 34 + 24,61 = \\ &= 55,6 \text{ мм} < a_y = 59 \text{ мм}; \end{aligned}$$

следовательно, $\delta_{o,min} = a_x = 55,6 \text{ мм}$.

4) Показатель условий нагрева контрольной точки нижней полки сварного двутавра вычисляют по степенной функции (6):

$$m_{o1} = 0,5 \cdot (a_y / a_x)^{0,5} = 0,5 \cdot (59 / 55,6)^{0,5} = 0,515;$$

то же, верхней полки – $m_{o2} = 1,0$; то же, гофрированной стенки – $m_{o3} = 0,5$ (при симметричном двухстороннем подводе тепла к контрольной точке).

5) Степень огнезащиты нижней полки сварного двутавра находят из выражения (9):

$$\begin{aligned} C_1 &= 1,45 \cdot m_{o1} \cdot \delta_{o,min} / D_{эм}^{0,8} = 1,45 \cdot 0,515 \cdot 55,6 / 19^{0,8} = \\ &= 41,53 / 10,54 = 3,94; \end{aligned}$$

то же, верхней полки ($m_{o2} = 1,0$; $\delta_{o,min} = 34 \text{ мм}$):

$$\begin{aligned} C_2 &= 1,45 \cdot m_{o2} \cdot \delta_{o,min} / D_{эм}^{0,8} = 1,45 \cdot 1,0 \cdot 34 / 19^{0,8} = \\ &= 49,3 / 10,54 = 4,68; \end{aligned}$$

то же, гофрированной стенки ($m_{o3} = 0,5$; $\delta_{o,min} = 15 \text{ мм}$; $D_{вм} = 15,52 \text{ мм}^2/\text{мин}$):

$$\begin{aligned} C_1 &= 1,45 \cdot m_{o1} \cdot \delta_{o,min} / D_{эм}^{0,8} = 1,45 \cdot 0,5 \cdot 15 / 15,52^{0,8} = \\ &= 10,875 / 8,968 = 1,2. \end{aligned}$$

6) Длительность сопротивления огневому воздействию нижней полки сварного двутавра стальной огнезащищённой гофробалки определяют по уравнению (10):

$$\begin{aligned} f_{ur,1} &= 48 \cdot (1 - J_{os1})^3 \cdot e^C + r_{us,1} = \\ &= 48 \cdot (1 - 0,625)^3 \cdot e^{3,94} + 13,1 = \\ &= 2,53 \cdot 51,4 + 13,3 = 130 + 13,1 = 143 \text{ мин}; \end{aligned}$$

то же, верхней полки ($C_2 = 4,68$):

$$\begin{aligned} f_{ur,2} &= 48 \cdot (1 - J_{os2})^3 \cdot e^C + r_{us,2} = \\ &= 48 \cdot (1 - 0,625)^3 \cdot e^{4,68} + 14 = \\ &= 2,53 \cdot 108,1 + 14,1 = 273,5 + 14 = 288 \text{ мин}; \end{aligned}$$

то же, гофрированной стенки ($C_3 = 1,2$; $J_{os3} = 0,1$):

$$\begin{aligned} f_{ur,3} &= 48 \cdot (1 - J_{os3})^3 \cdot e^C + r_{us,3} = 48 \cdot (1 - 0,1)^3 \cdot e^{1,2} + 49,4 = \\ &= 35 \cdot 33,2 + 49,4 = 116,2 + 49,4 = 165 \text{ мин}. \end{aligned}$$

Наименее слабой в статистическом и тепловом отношении является нижняя полка сварного двутавра $f_{ur,1} = f_{ur,min} = 143 \text{ мин}$; следовательно, проектный предел огнестойкости стальной огнезащитный гофробалки здания $F_{ur, мин}$, принимают по условию (11):

$$F_{ur} = f_{ur,min} = 143 \text{ мин} > 120 \text{ мин} = R_{ин}$$

здесь $R_{ин} = 120 \text{ мин}$ – требуемый предел огнестойкости гофробалки здания I (первой) степени огнестойкости (табл. 21 ФЗ № 123-08. Технический регламент безопасности (с изм. 2012 г.).

Предложенный способ применён при оценке огнестойкости стальных огнезащитных гофробалок ООО «Фирма Мета-Ком» (Самара).

Выводы. 1. Разработанное технологическое решение по огнезащите стальных конструкций относится к области пожаробезопасности зданий и сооружений и может быть использовано для классификации гофробалок по показателям сопротивления их высокотемпературному воздействию стандартного пожара.

2. Получена новая ресурсосберегающая система действий по обеспечению результативной огнестойкости стальных балок с гофрированной стенкой, обладающих повышенными технико-экономическими показателями и необходимой огнестойкостью.

3. Технологический эффект достигается проведением огневых испытаний стальной конструкции неразрушающими методами; оценку огнестойкости огнезащитных элементов гофробалки (гофрированной стенки, нижней и верхней полки) определяют, выявляя наименее слабый в части огнестойкости элемент сварного двутавра; проектный предел огнестойкости (в мин) стальной гофробалки в целом выявляют по длительности сопротивления высокотемпературному воздействию наименее слабого элемента сварного двутавра.

4. Длительность сопротивления огневому воздействию составных элементов сварного двутавра гофробалки с учетом огнезащиты описана аналитической функцией, в качестве переменных в которой приняты интенсивность силовых напряжений и степень огнезащиты составного элемента (10).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Патент № 2320982 RU, МПК G 01 № 25/50. Способ определения стальных огнезащитных балок здания / Ильин Н.А., Ведерников С.С., заявл. СГАСУ 04.07.2006; опубл. 27.03.2008, Бюл. № 9.
2. Патент № 2 522 110 (2006.1) МПК E 04 B 1/94. Способ огнезащиты двутавровой балки здания / Н.А. Ильин, А.П. Шепелев, П.Н. Славкин, Р.Р. Ибатулин, заявл. СГАСУ 25.10.2012; опубл. 27.04.2014, Бюл. №12.

3. Патент № 2 161 793, МПК-7 G 01 № 25/50. Способ определения огнестойкости изгибаемых железобетонных конструкций здания / Ильин Н.А., Пирогов М.Б., заявл. СГАСУ 22.02.99; опубл. 10.01.2001, Бюл. № 1.

4. Заявка на изобретение № 2016 000 000, МПК G01 №25/50. Способ оценки огнестойкости термозащитной гофробалки здания / Н.А. Ильин, Д.А. Панфилов, Е.В. Ильдияров, А.О. Лукин, заявл. СГАСУ. 2016.

5. *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).

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

7. Патент № 2 282 847 Способ определения огнестойкости облицованных металлических колонн здания / Н.А. Ильин, А.С. Ковалевский, Е.Ю. Пахомов, А.В. Черепанов; заявл. СГАСУ 06.06.2004; опубл. 27.08.2006, Бюл. №24.

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

9. Патент № 2 381 491. Способ оценки параметров пожара в здании / Н.А. Ильин, С.С. Ведерников; заявл. СГАСУ 20.10.08; опубл. 10.02.2010, Бюл. №4.

10. *Масалков И.Л., Плюшина Г.Ф., Фролов А.Ю.* Огнестойкость строительных конструкций. М.: 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., 2003.483 с.

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

14. *Романенков И.Г., Левитес Ф.А.* Огнезащита строительных конструкций. М.: Стройиздат, 1991. 320 с. (Гл. 4. Конструктивные способы огнезащиты; п. 4.2. – Крупногабаритные листовые, плитные и рулонные облицовки; рис.8, с.131-133).

15. *Собурь С.В.* Огнезащита строительных материалов и конструкций: справочник. М.: Спецтехника, 2008. 108 с.

16. *Яковлев А.* Расчет 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 строительной механики и сопротивления материалов
Самарский государственный технический университет
Архитектурно-строительный институт
443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194,
тел. (846) 339-14-30

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

Для цитирования: Ильин Н.А., Панфилов Д.А., Ильдияров Е.В., Лукин А.О. Конструктивная огнезащита стальных гофроблоков зданий и сооружений // Градостроительство и архитектура. 2017. Т. 7, № 1. С. 9-16. DOI: 1017673/Vestnik.2017.01.2.

For citation: Ilyin N.A., Panfilov D.A., Ildiyarov E.V., Lukin A.O. Constructional fire protection of steel SIN beams od buildings and structures // Urban Construction and Architecture. 2017. V. 7, № 1. Pp. 9-16. DOI: 1017673/Vestnik.2017.01.2.

**ПРИГЛАШАЕМ СТРОИТЕЛЬНЫЕ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ КОМПАНИИ!
(РЕКЛАМОДАТЕЛИ)**

Предлагаем разместить информационные и рекламные материалы на страницах нашего издания.
Информация о Вашей компании обязательно найдет своих потребителей среди нашей целевой аудитории.
По всем вопросам размещения рекламных материалов обращаться в издательский отдел, тел. (846) 242-36-98

**УВАЖАЕМЫЕ ЧИТАТЕЛИ!
ПОДПИСАТЬСЯ НА НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
«ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА» МОЖНО ПО КАТАЛОГУ АГЕНТСТВА «РОСПЕЧАТЬ»
(ПОДПИСНОЙ ИНДЕКС 70570)**

**С ПОЛНЫМИ ТЕКСТАМИ СТАТЕЙ,
ОПУБЛИКОВАННЫХ В ЖУРНАЛЕ «ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА»,
МОЖНО ОЗНАКОМИТЬСЯ НА ОФИЦИАЛЬНОМ САЙТЕ journal.samgasu.ru**