

УДК 614.841.332

doi: 10.33622/0869-7019.2023.10.27-33

Расчетная оценка экономической эффективности огнезащиты стальных конструкций

Денис Геннадиевич ПРОНИН¹, кандидат технических наук, зам. руководителя управления градостроительного и технического нормирования, pronin.dg@mail.ru

Евгений Вадимович САМАРИН², операционный директор ЕСБ, evgenii.samarin@evrazsteel.ru

Александр Юрьевич ЖУРАВЛЕВ³, начальник научно-производственного центра огнестойкости зданий и сооружений, zhuravlev@fireengin.ru

¹ Центральный научно-исследовательский и проектный институт Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации (ЦНИИП Минстроя России), 119331 Москва, просп. Вернадского, 29

² ЕВРАЗ, 121353 Москва, ул. Беловежская, 4, блок «В»

³ Пожарный Инженер, 109428 Москва, Рязанский просп., 24, корп. 2

Аннотация. Приведен анализ результатов расчетной оценки огнестойкости стальных конструкций из различных марок сталей. Рассмотрена нормативная база, которая обосновывает применение расчетной методики определения огнестойкости стальных конструкций. Представлены этапы проведения прочностного и теплотехнического расчета собственного предела огнестойкости стальных конструкций под нагрузкой. Проанализирована работа огнезащитной краски для выявления зависимости толщины краски от величины критической температуры. Установлено, что теплотехнический расчет по критическим температурам под нагрузкой совместно с использованием огнестойких сталей позволяет получить более существенную экономию средств огнезащиты. При этом расчет по критическим температурам требует высокой квалификации специалистов по огнезащите, значительных временных затрат на разработку рабочих проектов огнезащиты. Использование огнестойких сталей и расчет расхода огнезащиты по критическим температурам должны рассматриваться как совокупное техническое решение с учетом длительности срока эксплуатации объекта и затрат на его содержание.

Ключевые слова: стальные конструкции, предел огнестойкости, расчет огнестойкости, огнестойкая сталь, средства огнезащиты, теплотехнический расчет, стоимость огнезащиты, эксплуатация сооружений

Для цитирования: Пронин Д. Г., Самарин Е. В., Журавлев А. Ю. Расчетная оценка экономической эффективности огнезащиты стальных конструкций // Промышленное и гражданское строительство. 2023. № 10. С. 27 – 33. doi: 10.33622/0869-7019.2023.10.27-33

ESTIMATED COST-EFFECTIVENESS ASSESSMENT OF FIRE PROTECTION OF STEEL STRUCTURES

Denis G. PRONIN¹, pronin.dg@mail.ru, **Evgeniy V. SAMARIN**², evgenii.samarin@evrazsteel.ru

Aleksandr Yu. ZHURAVLEV³, zhuravlev@fireengin.ru

¹ Central Institute for Research and Design of the Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Russian Federation, prospekt Vernadskogo, 29, Moscow 119331, Russian Federation

² EVRAZ, Belovezhskaya ul., 4, block "B", Moscow 121353, Russian Federation

³ FIRE ENGINEER, Ryazanskiy prospekt, 24/2, korp. 2, Moscow 109428, Russian Federation

Abstract. The analysis of the results of the calculated assessment of the fire resistance of steel structures made of various grades of steel is given. The regulatory framework is considered, which justifies the application of the calculation methodology for determining the fire resistance of steel structures. The stages of strength and thermal engineering calculation of the intrinsic fire resistance limit of steel structures under load are presented. The work of fire-retardant paint is analyzed to identify the dependence of the paint thickness on the critical temperature. It is established that the thermal engineering calculation of critical temperatures under load, together with the use of fire-resistant steels, makes it possible to obtain more significant savings in fire protection. At the same time, the calculation of critical temperatures requires highly qualified fire protection specialists, significant time spent on the development of working fire protection projects. The use of fire-resistant steels and the calculation of the consumption of fire protection at critical temperatures should be considered as a combined technical solution, taking into account the duration of the facility's operation and the costs of its maintenance.

Keywords: steel structures, fire resistance limit, fire resistance calculation, fire resistant steel, fire protection tools, heat engineering calculation, fire protection cost, operation of structures

For citation: Pronin D. G., Samarin E. V., Zhuravlev A. Yu. Estimated Cost-Effectiveness Assessment of Fire Protection of Steel Structures. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and Civil Engineering], 2023, no. 10, pp. 27 – 33. (In Russ.). doi: 10.33622/0869-7019.2023.10.27-33

Введение

Применение стали в строительстве ограничивается необходимостью доказательной базы о безопасности строительных конструкций с точки зрения огнестойкости [1–3]. Так, федеральный закон от 30 декабря 2009 г. № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» в ст. 17 содержит требование, что для обеспечения пожарной безопасности здания или сооружения в проектной документации должны быть обоснованы принимаемые значения характеристик огнестойкости и пожарной опасности элементов строительных конструкций.

Согласно ст. 58 «Огнестойкость и пожарная опасность строительных конструкций» федерального закона от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности», огнестойкость и класс пожарной опасности строительных конструкций должны обеспечиваться за счет конструктивных решений, использования соответствующих строительных материалов, а также средств огнезащиты. Таким образом, огнестойкость должна обеспечиваться за счет свойств материала самой строительной конструкции, а также, при необходимости, с учетом огнезащиты. Орошение (охлаждение) конструкции водой от автоматических систем тушения пожара не учитывается при нормировании и расчете огнестойкости.

Эффективность применения стали и железобетона в качестве строительных конструкций рассмотрена в работах [4, 5], в которых показано, что сталь является конкурентоспособной альтернативой железобетону, а в некоторых случаях, даже безвариантной. Кроме того, для стальных и железобетонных несущих конструкций предел огнестойкости определяется временем достиже-

ния критической температуры стальными элементами (для железобетона — это арматура) [6, 7]. Разница заключается только в том, что в железобетоне уже заложен «огнезащитный» слой (бетон), не всегда достаточный, а для стальных конструкций его нужно предусмотреть отдельно.

Долгое время, начиная со строительства в Москве семи сталинских высоток (1947–1957 гг.), все несущие стальные элементы которых были защищены цементно-песчаной штукатуркой слоем 30–35 мм по стальной сетке [1], и до настоящего времени, когда применяются современные более легкие материалы на пористых заполнителях с перлитом и вермикулитом, эффективность использования стальных конструкций определялась эффективностью огнезащиты.

Вместе с тем явно недооценивались возможности расчетных обоснований, позволяющих учесть фактическую нагрузку на конструкцию и, соответственно, фактический предел огнестойкости.

В соответствии с требованиями п. 3.5 СП 2.13130.2020 «Системы противопожарной защиты. Обеспечение огнестойкости объектов защиты» обоснование принятых пределов огнестойкости допускается по результатам прочностных и теплотехнических расчетов строительных конструкций с нанесенными средствами огнезащиты.

Прочностной расчет конструкций проводится с учетом вида нагружения (центрально-сжатые, центрально-растянутые и внецентренно-сжатые элементы и т. д.), опирания конструкции (шарнирное по концам, защемление по концам и пр.) и других параметров. Для балок и колонн данные характеристики будут различаться. При этом прочностной расчет основан на требованиях СП 16.13330.2017 «СНиП II-23-81* Стальные конструкции».

Основная цель прочностного расчета при оценке огнестойкости — определение критической температуры стальной конструкции, т. е. средней температуры сечения стальной конструкции, при которой наступает предельное состояние по потере несущей способности. В нормативных документах по пожарной безопасности содержится единственное указание о критической температуре 500 °С в ГОСТ Р 53295–2009 «Средства огнезащиты для стальных конструкций. Общие требования. Метод определения огнезащитной эффективности».

В различных пособиях и справочниках, например в Пособии по определению пределов огнестойкости конструкций, пределов распространения огня по конструкциям и групп возгораемости материалов (к СНиП II-2-80) [8], фактический предел огнестойкости стальных конструкций определялся также по достижении критической температуры 500 °С. Критическая температура стальной конструкции может быть как выше, так и ниже данного значения и зависит от нагружения, его характера (сжатие/растяжение или изгиб), типа закрепления, эксцентриситета приложения усилия. Наиболее критичным является закрепление конструкции типа консоль.

Некоторые особенности прочностного расчета для оценки огнестойкости отражены в СТО АРСС 11251254.001-018-03 [9] и СТО АРСС 11251254.001-022-1 [10], в первую очередь температурные коэффициенты снижения механических свойств различных видов строительных сталей.

Следует отметить, что проведение таких расчетов более трудоемкая задача, чем определение толщины огнезащиты для усредненной стали без учета коэффициента нагружения и собственных механических свойств.

Это ставит вопрос о целесообразности использования расчетных методов с точки зрения эффективности (с нормативной точки зрения это требует СП 2.13130).

Далее рассмотрим результаты научно-исследовательской работы, выполненной для определения эффективности применения расчетных методик, учитывающих механические свойства стали, коэффициенты нагружения и критическую температуру, по сравнению с усредненными традиционными способами.

Результаты научно-исследовательской работы

В качестве примера принят реализованный проект мостов, опор кабельных линий и трубопроводов из стальных конструкций (рис. 1, 2). Исходные данные взяты из сортамента и размеров элементов, составляющих общие конструкции сооружения, сложные конструкции раскладывались на простые элементы с учетом способов их крепления друг к другу.

Условно принято, что нагрузки уже учитывают собственный вес элементов и максимальное нагружение по запасу прочности. Общее количество позиций составило 514 элементов. Листовые элементы площадок и прутья ограждений не учитывали.

В соответствии с поставленными задачами определяли критические температуры конструкций с применением стандартных С235–С345 и огнестойких С355П сталей, возможное снижение количества огнезащитных средств (в случае использования огнестойких сталей), а также экономический эффект от применения указанных сталей в совокупности со средствами огнезащиты.

Собственный предел огнестойкости стальных конструкций устанавливали при условии

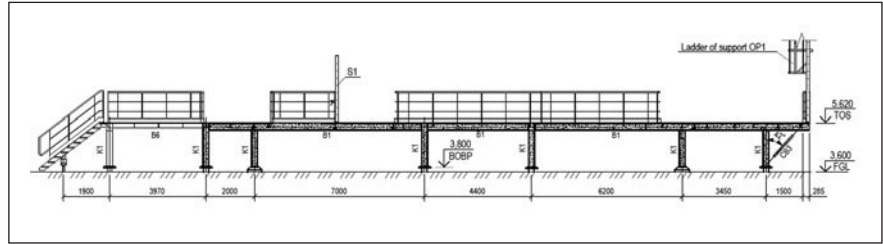


Рис. 1. Конструкции технологических трубопроводов и кабельных лотков

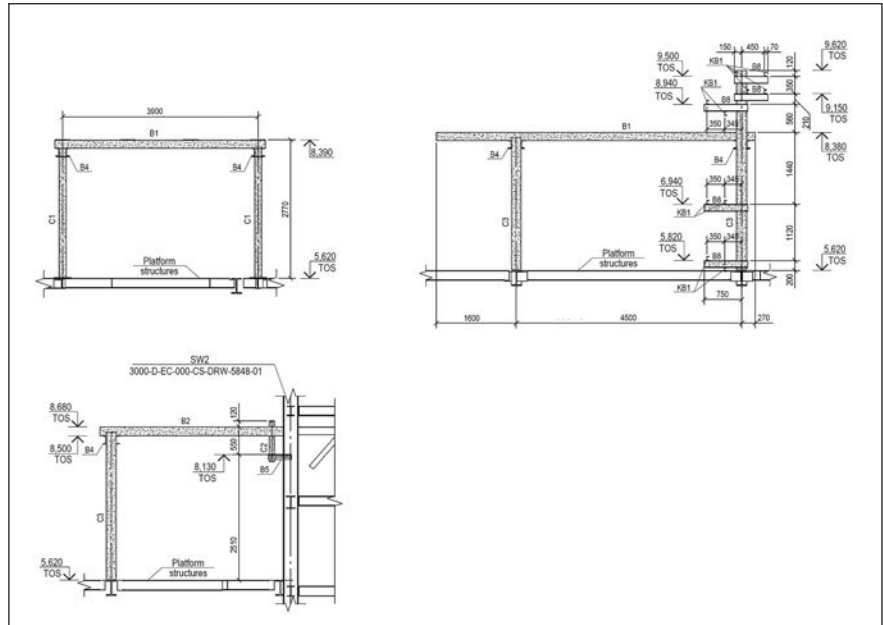


Рис. 2. Опора под кабельные лотки

1. Спецификация конструкций, размеры, их количество и усилия (фрагмент)

Показатель	Элемент		
	2.В1	27.В2	71.К2
Сечение по сортаменту	30Ш2	20Ш2	25К1
Длина, мм	950	2000	3750
Количество элементов, шт.	1	3	1
Тип усилия	Изгиб	Изгиб	Сжатие
Принятое усилие, кН, для распределенной нагрузки	85	53	401

Примечание. Все элементы защемлены с двух сторон.

стандартного пожара. Математическую зависимость, описывающую температуру внутри печи в определенный момент времени от начала испытаний (ГОСТ 30247.0), представим в виде

$$t_{в, \tau} = 345 \lg \left(\frac{8}{60} \tau + 1 \right) + T_0, \quad (1)$$

где τ — время от начала испытания, мин; T_0 — температура в печи до начала теплового воздействия, °С.

Так как конструкции не при-

2. Критические температуры для конструкций из разных марок сталей и время прогрева элементов (фрагмент)

Показатель	Элемент		
	2.В1/30Ш2	27.В2/20Ш1	71.К2/25К1
Коэффициент снижения прочности γ_T/γ_e стали марки:			
С235	0,032	0,301	0,236/0,025
С345	0,023	0,205	0,171/0,025
С355П	0,021	0,199	0,156/0,025
Максимальный момент M_n , Н·м	7080	19613	...
Критическая температура T_{cr} , °С, для стали:			
С235	700	663,93	687,11
С345	700	692,18	700
С355П	849,71	800,28	812,22
Время прогрева элемента до T_{cr} мин, для стали:			
С235	18,15	13,35	16,3
С345	18,15	14,82	17,03
С355П	35,13	25,12	27,93

3. Расчет толщины и количества огнезащитного слоя с учетом различных температур (фрагмент)

Показатель	Элемент			Итого, кг
	2.В1/30Ш2	27.В2/20Ш1	71.К2/25К1	
Приведенная толщина $\delta_{пр}$, мм	6,3	4	5,4	1215,74
Площадь, м ²	1,317	5,856	5,52	
<i>Метод 1</i>				
Толщина, мм/количество огнезащитного слоя, кг, для достижения:				
температуры 500 °С	0,85/1,65	1,36/11,79	0,92/7,45	2104,68
T_{cr} С235	0,73/1,42	1,23/10,7	0,81/6,61	1891,36
T_{cr} С345	0,73/1,42	1,2/10,38	0,8/6,5	1854,9
T_{cr} С355П	0,46/0,9	0,94/8,17	0,61/4,98	1400,55
<i>Метод 2</i>				
Толщина, мм/количество огнезащитного слоя, кг, для достижения:				
температуры 500 °С	0,85/1,65	1,36/11,79	0,92/7,45	2104,68
T_{cr} С235	0,72/1,41	1,23/10,63	0,8/6,54	1877,35
T_{cr} С345	0,72/1,41	1,19/10,3	0,79/6,43	1838,59
T_{cr} С355П	0,43/0,83	0,92/7,95	0,59/4,8	1355,09

мыкают к чему-либо в пространстве, то приняли, что конструкции обогриваются с четырех сторон. Все элементы сгруппирова-

ли по повторяющимся значениям длин, типов закрепления, усилий и получили 150 разных позиций (табл. 1).

Далее для каждого элемента вычисляли коэффициенты снижения предела текучести γ_T и модуля упругости γ_B в соответствии с параметрами нагружения и опирания. В расчетной формуле учитывали нормативное сопротивление металла $R_{уп}$ и особенности сечения конструкций по ГОСТ 27772–2015 «Прокат для строительных стальных конструкций». Общие технические условия».

Для расчета критических температур использовали коэффициенты γ_T и γ_B [10], которые получены на основе огневых испытаний и учитывают снижение прочностных характеристик для разных марок стали (табл. 2).

Далее определяли время прогрева до расчетных критических температур (см. табл. 2) по формуле расчета предела огнестойкости [9]. В соответствии с условиями стандартного пожара получили разброс значений от 6,92 мин для конструкции с самой низкой критической температурой (502,5 °С) до 18,15 мин при температуре 700 °С. Максимальное время прогрева составило 35 мин при критической температуре 850 °С.

Так как изначальная задача работы — достижение предела огнестойкости не менее R60, то для конструкций из стали С355П необходимо получить дополнительные 25 мин огнестойкости, в отличие от обычных строительных сталей, которым необходимо повысить предел огнестойкости на 42 мин для тех же конструкций.

На основе проведенных испытаний нескольких огнезащитных красок была установлена зависимость по этапу срабатывания огнезащитной краски. Так, скорость прогрева конструкций с огнезащитной краской, обеспечивающей предел огнестойкости R15, R30, R45, R60, снижалась по достижении 200 °С, затем по до-

4. Расчет экономической эффективности использования огнезащитного покрытия для различных сталей

Изменение цен за 10 лет с учетом инфляции, %	Цена за 1 м ² , р.		Стоимость, тыс. р.							
	материала	работ	расчет по 500 °С		расчет по T _{cr} С235		расчет по T _{cr} для С345		расчет по T _{cr} для С355П	
			материала	работ	материала	работ	материала	работ	материала	работ
<i>Первичное нанесение огнезащиты без подготовки поверхностей</i>										
0,00	0,5	0,2	1 059,5	729,4	947,3	486,3	922,4	486,3	685,6	486,3
Итого			1 788,9		1 433,6		1 408,7		1 171,9	
<i>Ремонт покрытия через 10 лет эксплуатации</i>										
71,81	0,85	0,34	1 820,4	1 253,3	1 627,6	835,5	1 584,8	835,5	1 177,9	835,5
Итого			3 073,7		2 463,1		2 420,3		2 013,4	
<i>Через 20 лет эксплуатации</i>										
143,62	1,2	0,5	2 581,2	1 777	2 247,2	1 184,7	2 247,2	1 184,7	1 670,2	1 184,7
Итого			4 358,3		3 431,9		3 431,9		2 854,9	
<i>Через 30 лет эксплуатации</i>										
215,43	1,6	0,6	3 342	2 300,9	2 909,6	1 533,9	2 909,6	1 533,9	2 162,5	1 533,9
Итого			5 642,9		4 443,5		4 443,5		3 696,4	
<i>Через 40 лет эксплуатации</i>										
287,24	1,9	0,8	4 102,9	2 824,7	3 571,9	1 883,1	3 571,9	1 883,1	2 654,8	1 883,1
Итого			6 927,6		5 455,1		5 455		4 537,9	

стижении 400...420 °С скорость прогрева соответствовала незащищенным элементам.

Влияние огнезащиты на огнестойкость конструкции оценивали по двум методам с определением:

- коэффициента времени влияния огнезащитного покрытия на огнестойкость в период срабатывания огнезащитной краски (метод 1):

$$S_{огз.Tcr} = S_{огз.500} - \frac{(R_{Tcr} - R_{500})S_{огз.500}}{R_{огз.500} - R_{500} - R_{200} - R_{420}},$$

где $S_{огз.Tcr}$ – толщина огнезащитного слоя, необходимого для достижения критической температуры; $S_{огз.500}$ – толщина огнезащитного слоя в соответствии с технической документацией для достижения критической температуры 500 °С по ГОСТ Р 53295; R_{Tcr} и R_{500} – время достижения (прогрева) критической температуры и температуры 500 °С незащищенного элемента конструкции;

$R_{огз.500}$ – время достижения температуры 500 °С защищенного огнезащитой элемента конструкции; R_{200} и R_{420} – время достижения температуры 200 и 420 °С незащищенного элемента конструкции;

- усредненного общего коэффициента влияния огнезащиты в зависимости от времени прогрева конструкции с огнезащитой и без (метод 2):

$$S_{огз.Tcr} = S_{огз.500} - \frac{R_{Tcr} - R_{500}}{R_{огз.500} - R_{500}} S_{огз.500},$$

где $R_{огз.500}$ – время достижения температуры 500 °С защищенного огнезащитой элемента конструкции.

Для каждого значения приведенной толщины металла выполнили расчеты по двум методам с учетом разных критических температур (табл. 3).

Зная толщину огнезащитного состава, определили его количе-

ство для марок сталей под нагрузкой и вывели среднее значение для:

- огнезащиты металла без учета нагрузок – 2104,68 кг (2125 кг с учетом фасовки);
- стали С235 под нагрузкой 1884,35 кг (1900 кг с учетом фасовки);
- стали С345 под нагрузкой 1846,75 кг (1850 кг с учетом фасовки);
- стали С355П под нагрузкой 1377,82 кг (1400 кг с учетом фасовки).

Таким образом, в случае применения огнестойкой стали количество огнезащитного покрытия снизилось на 35,3 % относительно стандартного огнезащитного покрытия, рассчитанного на достижение 500 °С. В то же время теплотехнический расчет позволил получить экономию в 10,59 % для сталей марки С235.

Далее оценили экономичес-

кую эффективность использования огнестойкой стали С355П относительно стали С235 с точки зрения затрат на огнезащиту в течение 50 лет эксплуатации объекта с учетом периодичности замены краски каждые 10 лет и стоимости работ 100 р. за один слой (табл. 4). Для оценки затрат использовали средний индекс инфляции на основе статистики ЦБ РФ – 7,181 %.

Так, на примере разбора одного проекта видно, что расчет критических температур от нагрузки позволяет экономить до 10 % на средствах огнезащиты на данном объекте, так как значения критических температур большинства конструкций выше 500 °С.

Реализация предложенного подхода станет возможна после определения эффективности при-

менения огнезащитных средств при прогреве стальных конструкций до разных температур в широком диапазоне (матрица значений). Это потребует проведения более длительных испытаний, в том числе на образцах из огнестойких сталей, так как они сохраняют несущую способность вплоть до температуры 850 °С.

Выводы

1. Применение огнестойких сталей С355П совместно с теплотехническим расчетом по критическим температурам под нагрузкой позволяет получить более существенную экономию на средствах огнезащиты. На рассматриваемом объекте расчетное сокращение затрат на огнезащиту составило 35 % по сравнению со стандартным расчетом огнезащиты

без учета нагрузки и критических температур.

Кроме того, снизились трудозатраты за счет уменьшения количества наносимых слоев огнезащитных покрытий.

2. Однако расчет по критическим температурам требует высокой ответственности и квалификации от проектировщиков огнезащиты, что увеличивает требования к подготовке кадров, больших затрат времени на разработку рабочих проектов огнезащиты. Экономическая выгода при применении огнестойких сталей и расчет расхода огнезащиты по критическим температурам должны рассматриваться как совокупное техническое решение для объекта с учетом длительности срока эксплуатации и затрат на его содержание.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Голованов В. И., Пронин Д. Г. Влияние развития нормативной базы в области огнестойкости на применение стали в строительстве // Промышленное и гражданское строительство. 2021. № 10. С. 24–29. doi: 10.33622/0869-7019.2021.10.24-29
2. Голованов В. И., Пронин Д. Г. Вопросы нормирования огнестойкости несущих конструкций зданий // Актуальные проблемы пожарной безопасности: материалы XXXIII Междунар. науч.-практ. конф., посвященной Году науки и технологий (Москва, 12–16 мая 2021 г.). М. : ВНИИПО, 2021. С. 518–522.
3. Голованов В. И., Павлов В. В., Пехотиков А. В., Пронин Д. Г. Стандартизация и внедрение расчетных методов в области огнезащиты несущих стальных конструкций // Актуальные проблемы пожарной безопасности: материалы XXXI Междунар. науч.-практ. конф. (Москва, 5–7 июня 2019 г.). М. : ВНИИПО, 2019. С. 26–29.
4. Коротков Р. В., Пронин Д. Г. Эффективность применения расчетных методов обоснования огнестойкости стальных строительных конструкций при снижении капитальных затрат на строительство зданий и сооружений // Вестник государственной экспертизы. 2023. № 1(26). С. 58–61.
5. Пронин Д. Г., Конин Д. В. Проблемы применения стальных и железобетонных несущих конструкций высотных зданий с точки зрения их огнестойкости // Пожаровзрывобезопасность. 2018. Т. 27. № 1. С. 50–57.
6. Jukomska M., Turkowska P., Roszkowska P., Papisa B. Fire resistance of unprotected steel beams – comparison between fire tests and calculation models [Огнестойкость незащищенных стальных балок: сравнение между испытаниями на огнестойкость и расчетными моделями] // Procedia Engineering. 2017. No. 172. Pp. 665–672.
7. Mahmud H. M. I., Mandal A., Nag S., Moinuddin K. A. M. Performance of fire protective coatings on structural steel member exposed to high temperature [Эффективность огнезащитных покрытий на элементах из конструкционной стали, подверженных воздействию высокой температуры] // Journal of Structural Fire Engineering. 2021. Vol. 12. No. 2. Pp. 193–211.
8. Пособие по определению пределов огнестойкости конструкций, пределов распространения огня по конструкциям и групп возгораемости материалов (к СНиП II-2-80) // ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко Госстроя СССР. М. : Стройиздат, 1985. 60 с.
9. СТО АРСС 11251254.001-018-03. Проектирование огнезащиты несущих стальных конструкций с применением различных типов облицовок. М. : АРСС, 2018. 70 с.
10. СТО АРСС 11251254.001-022-1. Методические рекомендации по разработке проекта огнезащиты стальных конструкций. М. : АРСС, 2022. 51 с.

REFERENCES

1. Golovanov V. I., Pronin D. G. The impact of the development of the regulatory framework in the field of fire safety on the use of steel structures in construction. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*, 2021, no. 10, pp. 24–29. (In Russ.). doi: 10.33622/0869-7019.2021.10.24-29
2. Golovanov V. I., Pronin D. G. Issues of rationing of fire resistance of load-bearing structures of buildings. *Aktual'nye problemy pozharной bezopasnosti* [Actual problems of fire safety]. Proc. XXXIII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konf. (Moscow, May 12–16, 2023). Moscow, VNIPO Publ., 2021, pp. 518–522. (In Russ.).
3. Golovanov V. I., Pavlov V. V., Pekhotikov A. V., Pronin D. G. Standardization and implementation of calculation methods in the field of fire protection of load-bearing steel structures. *Aktual'nye problemy pozharной bezopasnosti* [Actual problems of fire safety]. Proc. XXXI Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konf. (Moscow, June 5–7, 2023). Moscow, VNIPO Publ., 2019. C. 26–29. (In Russ.).
4. Korotkov R. V., Pronin D. G. Efficiency of the use of design methods for justifying the fire resistance of steel building structures while reducing capital costs for the construction of buildings and structures. *Vestnik gosudarstvennoy ekspertizy*, 2023, no. 1(26), pp. 58–61. (In Russ.).
5. Pronin D. G., Konin D. V. Problems with the use of steel and reinforced concrete bearing structures of high-rise buildings in terms of their fire resistance. *Pozharovzryvobezopasnost'*, 2018, vol. 27, no. 1, pp. 50–57. (In Russ.).
6. Jukomska M., Turkowskia P., Roszkowskia P., Papisa B. Fire resistance of unprotected steel beams – comparison between fire tests and calculation models. *Procedia Engineering*, 2017, no. 172, pp. 665–672.
7. Mahmud H. M. I., Mandal A., Nag S., Moinuddin K. A. M. Performance of fire protective coatings on structural steel member exposed to high temperature. *Journal of Structural Fire Engineering*, 2021, vol. 12, no. 2, pp. 193–211.
8. *Posobie po opredeleniyu predelov ognestoykosti konstruktsiy, predelov rasprostraneniya ognya po konstruktsiyam i grupp vozgoraemosti materialov (k SNIp II-2-80)* [Manual for determination of fire resistance limits of structures, fire distribution limits for structures and fire groups of materials (to SNIp II-2-80)]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1985. 60 p. (In Russ.).
9. STO ARSS 11251254.001-018-03. *Proektirovanie ognezashchity nesushchikh stal'nykh konstruktsiy s primeneniem razlichnykh tipov oblitsovok* [Design of fire protection of load-bearing steel structures using different types of revetments]. Moscow, ARSS Publ., 2018. 70 p. (In Russ.).
10. STO ARSS 11251254.001-022-1. *Metodicheskie rekomendatsii po razrabotke proekta ognezashchity stal'nykh konstruktsiy* [Methodological recommendations for the development of a fire protection design for steel structures]. Moscow, ARSS Publ., 2022. 51 p. (In Russ.).

