

Д. А. ПАНФИЛОВ
Н. А. ИЛЬИН
О. Н. ПАНФИЛОВА
Я. А. БУЗОВСКАЯ

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРОУСТОЙЧИВОСТИ ЧУГУННЫХ ОПОР ЗДАНИЯ

ENSURING HEAT RESISTANCE AND FIRE PROTECTION OF CAST-IRON BUILDING SUPPORTS

В статье изложено инновационное техническое решение конструктивной термозащиты чугунных опор при реконструкции здания Академии строительства и архитектуры СамГТУ (корпус № 12). Новизна реконструкции несущей опоры заключается в том, что к существующей несущей чугунной опоре, круглой в сечении, прикреплены элементы объемного арматурного каркаса, с дальнейшей заливкой легким огнезащитным бетоном. На основе расчетных методик определяется требуемая толщина покрытия конструктивной огнезащиты из легкого бетона исходя из физических свойств материалов и условий нагрева чугунной опоры при пожаре. Предложены схемы армирования огнезащитного покрытия оголовка и средней части реконструируемой чугунной опоры, состав огнезащитного слоя бетона, а также рекомендации по конструированию огнезащиты чугунных опор.

Ключевые слова: несущие опоры здания, реконструкция чугунных опор, класс чугуна, термостойкость чугуна, огнезащита чугунных опор, расчет предела огнестойкости, инновационное решение повышения температурной устойчивости чугуна и чугунных опор в условиях пожара, проектная огнестойкость, технико-экономический эффект

В строительстве зданий и сооружений расширяется применение «хрупких» материалов, таких как керамика, стекло, чугун и др. Для таких материалов большое значение имеет в первую очередь их термостойкость, т. е. устойчивость к влиянию неоднородности температурного поля [1–6].

Анализ последствий пожаров и экспериментально-теоретические исследования показывают, что незащищенные стальные чугунные опоры под воздействием температуры характеризуются хрупким разрушением, что приводит к лавинообразному обрушению других конструкций здания. Поэтому повышение

The article describes an innovative technical solution for the structural thermal protection of cast-iron supports during the reconstruction of the building of the Academy of Construction and Architecture of SSTU (building N. 12). The novelty of the reconstruction of the load-bearing support lies in the fact that elements of a volumetric reinforcing frame are attached to the existing cast-iron bearing support, round in cross-section, with further filling with light flame-retardant concrete. Based on calculation methods, the required thickness of the structural fire protection coating made of light concrete is determined based on the physical properties of the materials and the heating conditions of the cast-iron support in case of fire. Schemes of reinforcement of the flame-retardant coating of the head and the middle part of the reconstructed cast-iron support, the composition of the flame-retardant layer of concrete, as well as recommendations for the design of fire protection of cast-iron supports are proposed.

Keywords: bearing supports of the building, reconstruction of cast iron supports, class of cast iron, heat resistance of cast iron, fire protection of cast iron supports, calculation of the fire resistance rating, innovative solution for increasing the temperature stability of cast iron and cast iron supports in fire conditions, design fire resistance, technical and economic effect

температурной устойчивости (термостойкости и огнестойкости) несущих чугунных опор здания имеет большое социально-экономическое значение, а разработка действенных способов и устройств по обеспечению температурной устойчивости их весьма актуальна [7, 8].

Под термостойкостью материалов понимают способность материалов выдерживать без разрушения термические напряжения при резком изменении температуры. Часто термостойкость характеризуют величиной температуры, нагрев до которой или быстрое охлаждение резко снижают механическую прочность материала.

Термическое напряжение возникает вследствие градиента температуры. Роль термических напряжений существенна для поведения хрупких материалов. Количественной мерой сопротивления термическим напряжениям серого чугуна считают максимальную разность температур между изотермическими поверхностями – критическую температуру (T_{cr} , °C). При величине интенсивности силовых напряжений в сечениях несущего стержня чугуновой опоры $0,25 \leq J_{\sigma\sigma} \leq 0,85$ критическая температура для серого чугуна находится в пределах $270 \leq T_{cr} \leq 450$ °C [8].

Незащищенные от температурных воздействий чугунные колонны теряют несущую способность уже спустя 2-3 мин и разрушаются хрупко (взрывообразно), приводя к обрушению другие конструкции здания.

На фотоснимке приведен обзорный вид участка расположения двух чугунных опор круглого зала Академии строительства и архитектуры в момент разборки пола и подготовки к осмотру реконструируемых чугунных опор, на которые опираются металлические балки в виде двутавра № 18 перекрытия круглого зала: высота опор $L = 4$ м; размер сечения ствола чугунной опоры $L = 200$ мм; верхнего оголовка $L = 300$ мм (рис. 1).



Рис. 1. Общий вид чугунных опор
Fig. 1. General view of cast iron supports

Положительные технико-экономические показатели достигаются тем, что в предлагаемом методе обеспечения температуроустойчивости опор несущий стержень конструкции оборудуют конструктивной огнезащитой – слоем легкого бетона с элементами армирования, которые прикрепляются по всему периметру боковой поверхности чугуновой опоры [9, 10].

Толщина конструктивной огнезащиты чугуновой опоры определяется с учетом величины коэффициента термодиффузии легкого бетона и критической температуры нагрева серого чугуна по признаку хрупкого разрушения.

Интенсивность силовых напряжений в расчетном сечении чугуновой опоры от нагрузки на огнестойкость определяется выражением

$$J_o = 1/K_o, \quad (1)$$

где K_o – коэффициент запаса несущей способности чугуновой опоры при испытательной нагрузке на огнестойкость.

Критическая температура нагрева для серого чугуна по признаку хрупкого разрушения (T_{cr} , °C) рассчитывается по аналитическому уравнению

$$T_{cr} = 300 \cdot (1,75 - J_{\sigma\sigma}), \quad (2)$$

где $J_{\sigma\sigma}$ – интенсивность силовых напряжений в основном сечении чугуновой опоры от испытательной нагрузки на огнестойкость ($0,25 \leq J_{\sigma\sigma} \leq 0,85$).

Требуемая толщина легкого бетона для чугуновой опоры (S_k , мм) вычисляется уравнением

$$S_k = 40 \cdot D_{\text{озс}} \cdot R_u^{0,5} / T_{cr}^{0,9}, \quad (3)$$

где $D_{\text{озс}}$ – коэффициент термодиффузии огнезащитного слоя, мм²/мин; R_u – требуемый техническим регламентом предел огнестойкости несущей опоры здания, мин; T_{cr} – величина критической температуры нагрева серого чугуна по признаку хрупкого разрушения, °C.

Состав огнезащитного бетонного слоя: керамзит (0,3) – вермикулит (0,9) – портландцемент (1,0). Нанесение на чугунную опору производят при температуре не ниже +8 °C. Набор прочности бетона производится в течение 15 сут при температуре не ниже +10 °C [9].

Продольное и поперечное сечение огнезащищенной чугуновой опоры изображено на рис. 2.

При реконструкции учебного корпуса № 12 Академии строительства и архитектуры СамГТУ проектом была предусмотрена конструктивная огнезащита чугунных опор кругло-

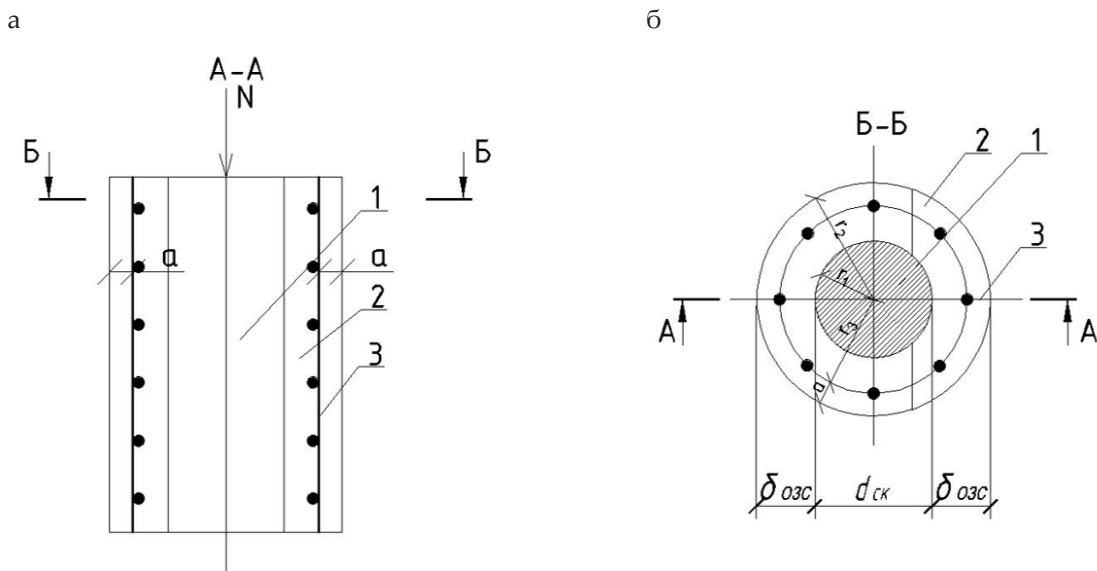


Рис. 2. Схема армирования огнезащитного покрытия оголовка (Ø 300 мм) и средней части чугунной опоры (Ø 200 мм): 1 – существующая чугунная опора; 2 – огнезащитное покрытие толщиной 50–100 мм; 3 – продольная арматура 4Ø20 + 3Ø12; 4 – гнутые хомуты Ø4–6 мм; $\delta_{\text{оэс}}$ – толщина огнезащитного покрытия 50–100, мм; N – нагрузка на реконструируемую чугунную опору

Fig. 2. Reinforcement diagram of the fireproofing coating of the tip (Ø 300 mm) and the middle part of the cast iron support (Ø 200 mm): 1 – the existing cast iron support; 2 – fireproof coating with thickness of 50–100 mm; 3 – longitudinal reinforcement 4Ø20 + 3Ø12; 4 – bent clamps Ø4–6 mm; δ – thickness of fire-proof coating 50–100, mm; N – load on the reconstructed cast-iron support

го зала. Требуемые характеристики пожарной защиты здания – Ф4.2, степень огнестойкости – I (первая); предел огнестойкости $R_u = 90$ мин [11]. Диаметр чугунной опоры $d_{\text{ср}} = 200$ мм; диаметр оголовка $d_{\text{ог}} = 300$ мм; площадь основного сечения чугунной опоры $A_{\text{ср}} = 15,71 \text{ см}^2$; высота опоры $H = 4,2$ м; число этажей в здании – шесть.

Чугунная опора выполнена из серого чугуна марки СЧ 30 (предел прочности $\sigma_{b,\text{ср}} = 300 \text{ Н/мм}^2$, коэффициент Пуассона $\nu = 0,3$; модуль упругости $E_{\text{ср}} = 98 \times 10^3 \text{ Н/мм}^2$; коэффициент линейного температурного расширения $\alpha_{\text{л}} = 12 \times 10^{-6}, 1/^\circ\text{C}$).

Конструктивная огнезащита – бетонная рубашка из перлито-керамзитового бетона на портландцементе плотностью до 800 кг/м^3 с коэффициентом термодиффузии легкого бетона $D_{\text{шт}} = 15,5 \text{ мм}^2/\text{мин}$, армированная арматурным каркасом.

Запас прочности чугунной опоры при испытательной нагрузке на огнестойкость $K_o = 2 \cdot J_o = 1 / K_o = 0,5$ – интенсивность силовых напряжений в основном сечении чугунной опоры.

Величина критической температуры по термopрочности ($T_{\text{ср}}, ^\circ\text{C}$) вычисляется по аналитическому уравнению

$$T_{\text{ср}} = 300 \cdot (1,75 - J_{\sigma 0}) = \\ = 300 \cdot (1,75 - 0,5) = 375 ^\circ\text{C}.$$

Толщина огнезащитного бетона (S_b , мм) определяется по уравнению

$$S_b = (40 \cdot D_{\text{шт}} \cdot R_u^{0,5}) / T_{\text{ср}}^{0,9} = \\ = (40 \cdot 15,5 \cdot 90^{0,5}) / 375^{0,9} \approx 28 \text{ мм}.$$

В состав строительно-монтажных работ при устройстве конструктивной огнезащиты чугунной опоры входит:

- подготовка поверхности чугунной опоры;
- выбор материалов для конструктивной огнезащиты;
- расчет толщины огнезащитного перлито-керамзитового бетона;
- установка объемного арматурного каркаса и маяков;
- нанесение легкого бетона с тщательным выравниванием поверхности [7, 10].

Фактический предел огнестойкости ($F_{\text{ог}}$, мин) чугунных опор при реконструкции здания должен соответствовать требованиям технических регламентов [11, 12].

В развитие технического решения по огнезащите зданий чугунных опор здания в ОНИЛ ЖБК разрабатывают рекомендации по конструированию огнезащиты чугунных опор. Общие положения рекомендаций относятся к выполнению работ по проектированию

и конструированию термостойкости и огнестойкости чугунных опор.

При сохранении неизменной первоначальной статической схемы работы чугунных опор здания реконструкцию производят посредством устройства железобетонных обойм. Огнезащиту несущей чугунной опоры от непосредственного температурного воздействия в случае пожара выполняют путем покрытия легким бетоном.

При повышении температурной устойчивости чугуна и чугунной опоры применяют легкий бетон класса В10–В15 по прочности на сжатие, арматуру класса А400, в сварных работах – электроды типа Э42.

Конструкцию теплоизоляционной обоймы применяют в целях повышения термостойкости чугуна и повышения огнестойкости чугунной опоры. Арматурный каркас образуют из гнутых хомутов и арматурных стержней с вязкой пересечений диаметром 3–5 мм. Толщину теплоизоляционной обоймы принимают не менее 50 мм при бетонировании. Продольную дополнительную арматуру в теплоизоляционной обойме принимают диаметром 12 мм (промежуточные стержни) и 22 мм класса А400 (угловые стержни). Поперечную арматуру объемного каркаса теплоизоляционной обоймы принимают диаметром 4–12 мм.

Консистенцию легкого бетона теплоизоляционной обоймы чугунной опоры принимают с осадкой конуса 50–100 мм (6–10 см) при укладке ручным способом; легкий бетон применяют на портландцементе, крупный заполнитель – керамзит или вермикулит.

Теплоизоляционную обойму чугунной опоры устраивают замкнутой, плотно охватывающей чугунную опору со всех сторон. Усадка бетона обоймы бетона способствует надежной связи легкого бетона с поверхностью чугунной опоры, и усиливаемую опору рассматривают как единое целое.

Для нанесения свежего легкого бетона используют насосы и передвижные воздушные компрессоры.

Подлежащую покрытию поверхность чугунной опоры очищают от грязи, ржавчины, жировых пятен и покрывают грунтом толщиной 50 мк. Нанесение свежего бетона осуществляют при температуре не ниже +5 °С и влажности воздуха не более 70 %.

Общую толщину огнезащитного слоя ($\delta_{\text{озс}}$, мм) определяют расчетом в зависимости от требуемого предела огнестойкости ($R_{\text{н,гр}}$, мм), коэффициента термодиффузии легкого бетона в сухом состоянии ($D_{\text{втр}}$, мм²/мин), критической температуры нагрева серого чугуна несущей опоры здания ($T_{\text{сч}}$, °С).

Конструкцию пространственного каркаса образуют привязкой гнутых хомутов к стержням продольной арматуры теплоизоляционной обоймы. Продольные и поперечные стержни арматуры теплоизоляционной обоймы представляют собой объемный арматурный каркас достаточной жесткости.

Минимальные расстояния между стержнями продольной арматуры принимают не менее 50 мм. При этом диаметры угловых продольных стержней принимают не более 20 мм, средних стержней – не более 12 мм; гнутых хомутов – 3–6 мм, шаг гнутых хомутов – 200 мм (100 мм на концевых участках опоры).

Предложенный метод расчета применен на практике при оценке проектных пределов огнестойкости реконструируемых чугунных опор корпуса № 12 Академии строительства и архитектуры СамГТУ.

Выводы

Технико-экономический эффект предлагаемого инновационного решения представляет собой:

- возможность математического моделирования термостойкости и огнестойкости чугунных опор;
- снижение трудоемкости работ по оценке термостойкости и огнестойкости чугунных опор;
- уточнение единичных показателей качества чугунных опор, влияющих на их фактическую термостойкость и проектную огнестойкость.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Соломин С.В. Высототемпературная устойчивость материалов и элементов конструкций. М.: Машиностроение, 1980. 128 с.
2. Бартеллеми Б., Крюппа Ж. Огнестойкость строительных конструкций / пер. с фр. М.: Стройиздат, 1985. 216 с.
3. Федоров В.С., Колчунов В.И., Левитин В.Е. Противопожарная защита зданий: Конструктивные и планировочные решения. М.: АСВ, 2018. 186 с.
4. Ильин Н.А., Мордовский С.С., Потатужева Ю.А., Резяпкина К.В. Новый метод оценки огнестойкости железобетонной колонны круглого сечения // Градостроительство и архитектура. 2020. Т. 10, № 3. С. 9–14. DOI: 10.17673/Vestnik.2020.03.2.
5. Ильин Н.А., Панфилов Д.А., Жильцов Ю.В. Инновационный метод оценки огнестойкости монолитной железобетонной балочной плиты перекрытия здания // Градостроительство и архитектура. 2021. Т. 11, № 4. С. 43–47. DOI: 10.17673/Vestnik.2021.04.5.
6. Ильин Н.А., Панфилов Д.А., Пищулёв А.А., Васючкин Г.Р. Нововведение в способе оценки огнестойкости железобетонного безбалочного бескапи-

тельного перекрытия здания // Градостроительство и архитектура. 2024. Т. 14, № 3. С. 11–18. DOI: 10.17673/Vestnik.2024.03.02.

7. Патент № 2 714 401 Российская Федерация, МПК E04B 1/94 (2006.01); E 04C 3/32. Способ огнезащиты чугунной опоры зданий/Ильин Н.А., Мордовский С.С., Панфилов Д.А., Стрелков Д.А., Бузовская Я.А.; заяв. 20.05.19, опубл. 14.02.2020. Бюл. № 5.

8. Голиков А.Д., Черкасов Е.Ю., Данилов А.И., Сиваков И.А. Предел огнестойкости чугунных тоннельных отделок без огнезащитного покрытия // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. – Воронеж, 2014. № 1(5). С. 130–134.

9. Патент № 2 709 532 Российская Федерация, МПК E04B 1/94. Огнезащитная металлическая чугунная опора здания / Ильин Н.А., Мордовский С.С., Панфилов Д.А., Стрелков Д.А., Бузовская Я.А.; заяв. 02.04.19, опубл. 19.12.2019. Бюл. № 35.

10. Патент № 2 518 599 Российская Федерация, МПК E 04 B1/94; E 04 C 3/32. Способ огнезащиты двутавровой колонны здания / Ильин Н.А., Шепелев А.П., Ибатуллин Р.Р.; заяв. 25.10.2012, опубл. 10.06.2014. Бюл. № 16.

11. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: Федеральный закон от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ : [Принят Государственной Думой 4 июля 2008 года : одобрен Советом Федерации 11 июля 2008 года]. М., 2022 (с исп.).

12. СП 2.13130.2009. Свод правил. Обеспечение огнестойкости объектов защиты. М., 2009.

ceiling of a building. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2024, vol. 14, no. 3, pp. 11–18. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2024.03.02.

7. Il'in N.A., Mordovskij S.S., Panfilov D.A., Strelkov D.A., Buzovskaja Ja.A., e.a. *Sposob ognезashhity chugunnoj opory zdaniy* [Method of fire protection of cast-iron building supports]. Patent RF, no. 2 714 401, 2020.

8. Golikov A.D., Cherkasov E.Ju., Danilov A.I., Sivakov I.A. Fire resistance limit of cast-iron tunnel walls without fire-retardant coating. *Pozharnaja bezopasnost': problemy i perspektivy*. Institut GPS MChS. [Fire safety: problems and prospects. The Institute of GPS of the Ministry of Emergency Situations], 2014, no. 1(5), pp. 130–134 (in Russian).

9. Il'in N.A., Mordovskij S.S., Panfilov D.A., Strelkov D.A., Buzovskaja Ja.A., e.a. *Ognезashhishhen-naja metallicheskaja chugunnaja opora zdaniya* [Fire-proof metal cast-iron building support]. Patent RF, no. 2 709 532, 2019.

10. Il'in N.A., Shepelev A.P., Ibatullin R.R., e.a. *Sposob ognезashhity dvutavrovoj kolonny zdaniya* [The method of fire protection of the I-beam column of the building]. Patent RF, no. 2 518 599, 2014.

11. Federal law № 123-FZ. Technical regulations on fire safety requirements. Moscow., 2022 (in Russian).

12. SP2.13130.2009. A set of rules. Ensuring fire resistance of protection facilities / VNIIPO. Federal State Budgetary Institution VNIIPO of the Ministry of Emergency Situations of Russia, 2009.

REFERENCES

1. Solomin S.V. *Vysokotemperaturnaja ustojchivost' materialov i jelementov konstrukcij*. [High temperature resistance of materials and structural elements]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1980. 128 p.

2. Bartellemi B., Krjuppa Zh. *Ognestojkost' stroitel'nyh konstrukcij* [Fire resistance of building structures]. Moscow, Strojizdat Publ., 1985. 216 p.

3. Fedorov V.S., Kolchunov V.I., Levitin V.E. *Protivopozharnaja zashhita zdaniy: Konstruktivnye i planirovochnye reshenija* [Fire protection of buildings: Design and planning solutions]. Moscow, ASV Publ., 2018. 186 p.

4. Il'in N.A., Mordovskij S.S., Potatuyeva Yu.A., Rezyapkina K.V. A New Method for Assessing the Fire Resistance of a Reinforced Concrete Column with a Circular Cross Section. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2020, vol. 10, no. 3, pp. 9–14. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2020.03.2.

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

6. Il'in N.A., Panfilov D.A., Pishchulev A.A., Vasyuchkin G.R. An innovation in the method of assessing the fire resistance of a reinforced concrete girderless

Об авторах:

ПАНФИЛОВ Денис Александрович

кандидат технических наук, доцент,
заведующий кафедрой железобетонных конструкций
Самарский государственный технический университет
443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244
E-mail: sk@samgtu.ru

ИЛЬИН Николай Алексеевич

кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры железобетонных конструкций
Самарский государственный технический университет
443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

ПАНФИЛОВА Ольга Николаевна

кандидат технических наук,
декан строительного факультета
Самарский государственный технический университет
443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

БУЗОВСКАЯ Яна Александровна

старший преподаватель кафедры
железобетонных конструкций
Самарский государственный технический университет
443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244
E-mail: sk@samgtu.ru

PANFILOV Denis Al.

PhD in Engineering Sciences, Associate Professor,
Head of the Reinforced Concrete Structures Chair
Samara State Technical University
443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya st., 244
E-mail: sk@samgtu.ru

ILYIN Nikolay Al.

PhD in Engineering Sciences, Associate Professor,
Associate Professor of the Reinforced Concrete
Structures Chair
Samara State Technical University
443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya st., 244

PANFILOVA Olga N.

PhD in Engineering Sciences,
Dean of the Faculty of Construction and Technology
Samara State Technical University
443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya st., 244

BUZOVSKAYA Yana Al.

Senior Lecturer of the Reinforced Concrete Structures
Chair
Samara State Technical University
443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya st., 244
E-mail: sk@samgtu.ru

Для цитирования: Панфилов Д.А., Ильин Н.А., Панфилова О.Н., Бузовская Я.А. Обеспечение теплоустойчивости стальных опор здания // Градостроительство и архитектура. 2025. Т. 15, № 4. С. 34–39. DOI: 10.17673/Vestnik.2025.04.05.

For citation: Panfilov D.A., Ilyin N.A., Panfilova O.N., Buzovskaya Ya.A. Ensuring heat resistance and fire protection of cast-iron building supports. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2025, vol. 15, no. 4, pp. 34–39. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2025.04.05.

Принята: 02.06.2025 г.