

ОБСЛЕДОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ КАМЕННЫХ ЗДАНИЙ ПОСЛЕ ОГНЕВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОЖАРА

Д.В. КУРЛАПОВ, канд. техн. наук

*Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Московский пр., д. 9,
г. Санкт-Петербург, 190031, Российская Федерация*

Аннотация

Введение. Для принятия решения по эксплуатации каменных конструкций после воздействия высокой температуры и огня при пожаре производят техническое обследование здания.

Цель. Определение остаточной несущей способности, назначение способа усиления каменных конструкций после пожара.

Материалы и методы. Воздействие при пожаре на каменные конструкции зависит от размера и материала камня, пространственного положения стен, температурной и длительнодействующей составляющей пожара, методов огнетушения.

Результаты. Каменные здания постройки конца XIX и первой половины XX века возводились в основном 2–7-этажные, во второй половине XX века – 5–14-этажные. Стены зданий выполнялись из полнотелых и пустотелых керамических и силикатных кирпичей. Раствор для кладки стен в конце XIX и в течение XX века применялся цементно-известковый. Толщина стен, возведенных в конце XIX – начале XX века, была в 2–2,5 кирпича. Толщина стен после 1920-х годов была равна, как правило, двум кирпичам. При тепловой составляющей пожара кладки из керамического кирпича до 800 °С происходит вышелушевание камня на глубину не более 5 мм, появляются вертикальные и наклонные поверхностные трещины, несущая способность каменной кладки при этом не снижается. При нагреве кладки стен и столбов из керамического кирпича от 800 до 1000 °С происходит огневое поражение на глубину 5–10 мм, образуются вертикальные и наклонные трещины протяженностью не более двух рядов кладки, выпучивание стен не более чем на 1/6 их толщины. Несущая способность кладки снижается на 15–20 %. При нагреве кладки стен и столбов из керамического кирпича от 1000 до 1200 °С кладка повреждается более чем на 10 мм, появляются вертикальные и наклонные трещины на высоту более двух рядов кладки, выпучивание стен до 1/3 и более толщины кладки. Несущая способность кладки снижается более чем на 20 %.

Выводы. Все трещины должны быть классифицированы: от перегрузки участков стен, от температурного воздействия, от неравномерной осадки фундаментов. Для этого должны быть обследованы участки стен, расположенных рядом с помещениями, подвергшимися воздействию пожара. Определяется вид и состояние раствора в кладке. Для сравнения необходимо осмотреть швы в кладке, прилегающей к помещениям, поврежденным пожаром. Расчетное сопротивление кирпичной кладки, подвергшейся огневому воздействию, после охлаждения принимают равным расчетному сопротивлению кладки до пожара, умноженному на коэффициент снижения несущей способности кладки k_{mc} .

Ключевые слова: каменные конструкции, степень огневого воздействия, нагрев кладки, воздействия температуры, трещины, несущая способность

Для цитирования: Курлапов Д.В. Обследование технического состояния каменных зданий после огневого воздействия пожара. *Вестник НИЦ «Строительство»*. 2024;43(4):210–217. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2024-4\(43\)-210-217](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2024-4(43)-210-217)

Вклад автора

Автор берет на себя ответственность за все аспекты работы над статьей.

Финансирование

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 24.06.2024

Поступила после рецензирования 02.08.2024

Принята к публикации 08.08.2024

ENGINEERING SURVEY OF STONE BUILDINGS AFTER FIRE EXPOSURE

D.V. KURLAPOV, Cand. Sci. (Engineering)

Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, Moskovsky pr., 9, St. Petersburg, 190031, Russian Federation

Abstract

Introduction. Engineering survey forms a basis for making informed decisions regarding the operation of stone structures following exposure to high temperatures and fire.

Aim. To determine the residual bearing capacity and to specify methods for reinforcing stone structures after a fire.

Materials and methods. The impact of fire on stone structures depends on the size and material of the stone, the spatial arrangement of the walls, the thermal and prolonged effects of the fire, and the firefighting methods employed.

Results. Stone buildings constructed in the late 19th and first half of the 20th century were predominantly 2–7 stories high, while those built in the second half of the 20th century ranged from 5 to 14 stories. The walls were primarily made of solid and hollow ceramic and sand-lime bricks. The mortar used for wall masonry in the late 19th century and throughout the 20th century was cement-lime based. The thickness of walls built in the late 19th to early 20th century typically comprised 2–2.5 bricks, while after the 1920s, it was generally two bricks. When exposed to thermal effects of a fire, ceramic brick masonry at temperatures up to 800 °C experiences spalling of the stone to a depth of no more than 5 mm, with vertical and inclined surface cracks appearing, while the bearing capacity remains unaffected. At temperatures between 800 and 1000 °C, fire damage penetrates to a depth of 5–10 mm, resulting in vertical and inclined cracks extending no more than two courses of masonry, with wall bulging not exceeding 1/6 of their thickness. The bearing capacity of the masonry decreases by 15–20 %. When masonry walls and columns made of ceramic bricks are heated from 1000 to 1200 °C, damage exceeds 10 mm in depth, with vertical and inclined cracks extending over two courses of masonry, and bulging of walls reaching one-third or more of the masonry thickness. The bearing capacity of the masonry declines by more than 20 %.

Conclusions. All cracks must be classified according to their causes: overloading of wall sections, thermal effect, and uneven foundation settlement. This necessitates an inspection of wall sections adjacent to areas affected by fire. The type and condition of the mortar in the masonry are to be assessed. For comparison, joints in masonry adjacent to fire-damaged areas should be examined. The design resistance of brick masonry subjected to fire exposure, after cooling, is considered equal to the design resistance prior to the fire multiplied by a coefficient for reduced bearing capacity k_{mc} .

Keywords: stone structures, degree of fire exposure, masonry heating, temperature effects, cracks, bearing capacity

For citation: Kurlapov D.V. Engineering survey of stone buildings after fire exposure. *Vestnik NIC Stroitel'stvo = Bulletin of Science and Research Center of Construction*. 2024;43(4):210–217. (In Russian). [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2024-4\(43\)-210-217](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2024-4(43)-210-217)

Author contribution statement

The author takes responsibility for all aspects of the paper.

Funding

No funding support was obtained for the research.

Conflict of interest

The author declares no conflict of interest.

Received 24.06.2024

Revised 02.08.2024

Accepted 08.08.2024

Введение

Для дальнейшей эксплуатации каменных конструкций после воздействия при пожаре производят техническое обследование пострадавшего от огня здания и его строительных конструкций.

Согласно официальной статистике МЧС, более 70% пожаров ложится на жилой сектор. В крупных исторических центрах это в первую очередь каменные здания с деревянными перекрытиями, способствующими быстрому распространению огневого воздействия. Наибольшее количество пожаров произошло в многоквартирных жилых домах – 15 516 пожаров (аналогичный период прошлого года (АППГ) – 14 989; 3,5%), на которых погибло 1 951 человек (АППГ – 1 922; 1,5%), в том числе 98 несовершеннолетних (АППГ – 79; 24,1%), и получили травмы 1 146 человек (АППГ – 939; 22,0%). В многоквартирных жилых домах произошло 15 450 пожаров (АППГ – 16 482; –6,3%), на которых погибло 1 300 человек (АППГ – 1 445; –10,0%), в том числе 49 несовершеннолетних (АППГ – 55; –10,9%), и получили травмы 1 622 человека (АППГ – 1 658; –2,2%) [1].

Целью обследования технического состояния является определение остаточной несущей способности и способа усиления поврежденных пожаром каменных конструкций.

Состояние вопроса

Каменные здания постройки конца XIX и первой половины XX века возводились в основном 2–7-этажные, во второй половине XX века – 5–14-этажные. Стены зданий выполнялись из полнотелых и пустотелых керамических и силикатных кирпичей. Раствор для кладки стен в конце XIX и в течение XX века применялся цементно-известковый. Толщина стен, возведенных в конце XIX – начале XX века, была в 2–2,5 кирпича. Толщина стен после 1920-х годов была равна, как правило, двум кирпичам.

Стены оштукатуривались изнутри известковым раствором или облицовывались гипсокартонными плитами. Снаружи стены штукатурились известковым и цементно-известковым раствором или кладка велась под расшивку без штукатурки.

Междуэтажное и мансардное перекрытия в зданиях постройки конца XIX и начала XX века выполнялись деревянными по деревянным или металлическим балкам или бетонными по металлическим балкам. Конструктивное пространство между полом и потолком является фактором, ускоряющим в перекрытии огневое распространение. В различных перекрытиях для недопущения распространения огня укладывались поперек балок бруски. В состав деревянных перекрытий по металлическим балкам входят те же элементы, что и в деревянных перекрытиях по деревянным балкам. Взамен деревянных балок использовались металлические балки из двутавра или рельсовые.

В конце XIX – начале XX века в перекрытиях над подвалом и первым этажом (обычно складские помещения) устраивались кирпичные или бетонные сводики по стальным двутавровым балкам или изношенным рельсам. В прежние времена (в XVIII – начале XIX века) своды, которые опирались на стены, были кирпичными [1].

Начиная с конца первой половины XX века в производство вошли железобетонные монолитные и сборные системы перекрытий [2, 3].

Мансардный этаж был засыпан строительным мусором, обложен кирпичом с помощью глиняного раствора, опилками, смешанными с известью, со второй половины XX века – керамзитом, минеральной ватой и стекловолокном. По верху вставки укладывался усиленный защитный слой из известкового или цементного раствора.

Ненесущие части зданий, построенных в конце XIX и в первой половине XX века, производились из брусьев со шлаковой засыпкой, далее следовала штукатурка по дранке. Во второй половине XX века ненесущие части зданий производились в виде щитов-каркасов с обшивкой из гипсокартона.

Марши лестниц в конце XIX и первой половине XX века производились из отдельных ступеней из известнякового камня или бетона, уложенных по стальным двутавровым балкам. В конце XIX века применялись также каменные и бетонные ступени, заделанные одним концом в стены. Под другим концом ступеней укладывалась плашмя стальная полоса, однако считать ее косоуром нельзя из-за очень малого значения изгибной жесткости. Во второй половине XX века начали применяться сборные железобетонные марши и марш-площадки. Площадки выполнялись из бетонных монолитных или сборных железобетонных плит по стальным двутавровым балкам, или из сборных железобетонной плиты с ребром, служащим для опоры плиты и маршей.

Крыша выполнялась с деревянной стропильной системой и обрешеткой из брусков и досок. Кровля чаще всего делалась из стали или волнистых асбоцементных листов.

Воздействие при пожаре на каменные конструкции зависит от размера и материала камня, пространственного положения стен, температурной и длительнодействующей составляющей пожара, методов огнетушения.

Горение древесины обусловлено выделением избыточного тепла, что активизирует сам пожар. Большие деревянные конструкции (балки перекрытий) теряют прочностные характеристики постепенно и медленно в отличие от незащищенных конструкций из металла. Прочность внутренних слоев древесины от усушки получается большей из-за влажностных потерь. Обугливание древесины до 10 мм происходит при температуре около 450–570 °С, при крупнопористом древесном угле толщиной до 20 мм – около 600–800 °С, при обугливание на толщину более 30 мм – 820–1000 °С. Следовательно, при легкой сухой древесине и толщине обугливания до 10 мм огневое воздействие

продолжается около 15 минут, глубине обугливания 20 мм – 30 минут, глубоком обугливания 30 мм – 45 минут.

Металлические конструкции зданий (балки лестничных и площадок перекрытий) производились из малоуглеродистой стали. «Сталь марки – Ст0 содержит углерода до 0,23%, стали марок Ст2 и Ст3 – не более 0,22%» [1]. Такие стали не закаляются и не отпускаются при нагреве до 600 °С. После охлаждения эта сталь сохраняет свои основные характеристики: предел текучести, временное сопротивление, модуль упругости. Нагреваясь свыше 600 °С, стальные конструкции получают большие деформации и обычно не применимы для реконструкции и восстановления.

При тепловой составляющей пожара кладки из керамического кирпича до 800 °С происходит выщелушивание камня на глубину не более 5 мм, появляются вертикальные и наклонные поверхностные трещины, несущая способность каменной кладки при этом не снижается. «При нагреве кладки стен и столбов из керамического кирпича от 800 до 1000 °С происходит огневое поражение на глубину 5–10 мм, образуются вертикальные и наклонные трещины протяженностью не более двух рядов кладки, выпучивание стен не более чем на 1/6 их толщины» [1]. Несущая способность кладки снижается на 15–20%. «При нагреве кладки стен и столбов из керамического кирпича от 1000 до 1200 °С кладка повреждается более чем на 10 мм, появляются вертикальные и наклонные трещины на высоту более двух рядов кладки, выпучивание стен до 1/3 и более толщины кладки». Несущая способность кладки снижается более чем на 20%. Каменная кладка из силикатного кирпича при нагреве до 700 °С образует трещины, прочность кладки снижается в два раза. Каменная кладка из силикатного кирпича до 900 °С показывает интенсивное образование трещин, прочность кладки снижается в 5 раз. Температура нагрева каменных конструкций рассматривается по состоянию штукатурки: цементно-песчаная штукатурка при температуре 400–600 °С выделяется розовым цветом, при температуре 800–900 °С – светло-серым цветом с шелушением; известковая штукатурка при температуре 600–800 °С отходит слоями толщиной до 2 мм с копотью, при температуре 900 °С и выше идет отслоение толщиной более 2 мм, которое проявляется в течение двух недель.

При обследовании технического состояния конструкций из дерева, особенно балок и стропильных систем, определяют характеристики сечения деревянных элементов с учетом выгоревших слоев древесины, а также расчетное сопротивление и состояние узлов сопряжения элементов. В соединениях сопряженных конструкций из дерева использовали металлические гвозди, которые при нагреве дополнительно обугливают древесину в месте контакта, что ослабляет стыки и повышает деформативность. Необходимо дополнительно производить обследование с целью определения параметров поражения древесины от огня.

При обследовании стальных конструкций определяют сечение элементов, их прогибы, деформации кручения, поражения коррозией [4, 5].

При обследовании несущих и самонесущих кирпичных стен определяют их конструкцию, толщину, вид кирпича и раствора, наличие трещин. Выявленные трещины должны быть дифференцированы по происхождению: трещины от перегрузки участков стен, от температурного воздействия, от неравномерной осадки фундаментов. Для этого должны быть обследованы участки стен, расположенных рядом с помещениями, подвергшимися воздействию пожара. Определяется вид и состояние раствора в кладке. Для сравнения необходимо осмотреть швы в кладке, прилегающей к помещениям, поврежденным пожаром (табл. 1) [6].

Таблица 1

Критерии повреждений каменных конструкций

Table 1

Criteria for damage to stone structures

Критерии повреждений конструкций из кирпича	Температура огневого воздействия	Степень оценки повреждений	Инструкции по применению конструкций
Повреждение кладки из глиняного кирпича сжатых элементов (стен и столбов) при пожаре на глубину не более 5 мм (шелушение); вертикальные и косые поверхностные трещины, проходящие по несущим или малонагруженным участкам стены, имеющим проемы; несущая способность конструкций не снижается	До 800 °С	Слабая	Необходимо восстановление слоя штукатурки
Повреждение кладки из глиняного кирпича армированных и неармированных сжатых элементов (стен и столбов) на глубину 5–10 мм; наличие вертикальных или косых трещин на высоте не более 2-х рядов кладки, наклоны и выпучивание стен не более чем на 1/6 их толщины; несущая способность конструкций при эксплуатационных нагрузках снижается на 15–20 %; небольшие повреждения кладки под опорами ферм, балок, прогонов и перемычек в виде трещин, пересекающих не более двух рядов кладки	800–1000 °С	Средняя	Восстановление фрагментов кладки с усилением
Повреждение кладки сжатых элементов (стен и столбов) более 10 мм; утрата несущей способности конструкций при эксплуатационных нагрузках более чем на 20 % происходит при наличии вертикальных и косых трещин в несущих участках стен и столбов на высоту более двух рядов кладки; наклоны и выпучивание стен до 1/3 и более их толщины; кладка повреждена под опорами изгибаемых элементов (ферм, балок, прогонов, перемычек); образование (по длине и раскрытию) значительных трещин	1000–1200 °С	Сильная	Капитальный ремонт. Восстановление прочностных критериев с усилением
Разрушение кирпичной кладки (полное)	1200–1400 °С	Аварийная	Снос и замена строительных конструкций

После пожара назначают элементы лестниц: схемы лестниц (косоурные, бескосоурные, со сборными каменными или бетонными ступенями); сечения и пролеты лестничных площадок (косоуров и балок), сборных железобетонных площадочных маршей; фиксируются деформации изгибаемых элементов (косоуров, ступеней, маршей, площадок).

Значение коэффициента снижения несущей способности кладки k_{mc}

Table 2

Value of bearing capacity reduction factor k_{mc}

Глубина повреждения кладки (без учета штукатурки), мм	Для конструкций стен и простенков (толщиной 380 мм и более) при температурном воздействии	
	одностороннем	двустороннем
до 5	1,0	0,95
до 20	0,95	0,9
до 50–60	0,9	0,8

Расчетное сопротивление кирпичной кладки, подвергшейся огневому воздействию, после охлаждения принимают равным расчетному сопротивлению кладки до пожара, умноженному на коэффициент снижения несущей способности кладки k_{mc} (табл. 2) [7].

Сжатые элементы конструкций из камня (колонны, простенки), поврежденные воздействием пожара (при их недостаточной несущей способности), проходят системы усиления обоями (стальная, железобетонная или армированная растворная). Каменные конструкции, получившие поверхностные повреждения от огневого воздействия, восстанавливаются вычинкой.

Выводы

1. После длительной эксплуатации ряд основных критериев каменных конструкций зданий (влияющих на их несущую способность) существенно изменяется, пределы огнестойкости (проектные значения) самих конструкций каменных зданий снижаются.

2. Проект реконструкции зданий (особенно с устройством мансардных этажей) предполагает увеличение эксплуатационных нагрузок на конструкции, при этом необходим расчет усиления несущей способности.

3. Необходимо разработать специальные методы определения остаточной несущей способности реконструируемых зданий (с учетом инженерных методик расчета высокой температуры пожара на основные несущие конструкции).

4. Создание противопожарной защиты реконструируемых зданий по критерию (утрата несущей способности) позволит учитывать фактический (эксплуатационный) предел огнестойкости старых конструкций (их технического состояния) и новых конструкций (применяемых для замены старых).

5. Необходима методика оценки эксплуатационных параметров конструкций на основе применения коэффициента потери несущей способности после пожара, зависящего от технического состояния (с учетом инженерных методик расчета высокой температуры пожара на основные несущие конструкции).

Список литературы

1. Гроздов В.Т., Курлапов Д.В., Поддубный И.В. Рекомендации по техническому обследованию и проведению мероприятий по усилению или замене несущих конструкций малоэтажных зданий поврежденных воздействием пожара. Санкт-Петербург: ВИТУ; 2008.
2. Макагонов В.А. Бетон в условиях высокотемпературного нагрева. Москва: Стройиздат; 1979.
3. Милованов А.Д. Влияние температуры на бетон и железобетон. 1995;(4):9–13.
4. Ильин Н.А. Техническая эксплуатация зданий, поврежденных пожаром. Москва: Стройиздат; 1983.
5. Бедов А.И., Сапрыкин В.Ф. Обследование и реконструкция железобетонных и каменных конструкций эксплуатируемых зданий и сооружений. Москва: Изд-во АСВ; 1995.
6. Курлапов Д.В. Воздействие высоких температур пожара на строительные конструкции. Инженерно-строительный журнал. 2009;(4):41–43.
7. СП 329.1325800.2017. Здания и сооружения. Правила обследования после пожара. Москва: Минстрой России; 2017.

References

1. Grozдов V.T., Kurlapov D.V., Poddubny I.V. Recommendations for technical inspection and measures to strengthen or replace load-bearing structures of low-rise buildings damaged by fire. St. Petersburg: VITU; 2008. (In Russian).
2. Makagonov V.A. Concrete in conditions of high-temperature heating. Moscow: Stroyizdat Publ.; 1979. (In Russian).
3. Milovanov A.D. The effect of temperature on concrete. Beton i Zhelezobeton = Concrete and Reinforced Concrete. 1995;(4):9–13. (In Russian).
4. Ilyin N.A. Technical operation of buildings damaged by fire. Moscow: Stroyizdat Publ.; 1983. (In Russian).
5. Bedov A.I., Saprykin V.F. Inspection and reconstruction of reinforced concrete and stone structures of operated buildings and structures. Moscow: ASV Publ.; 1995. (In Russian).
6. Kurlapov D.V. The effect of high fire temperatures on building structures. Magazine of Civil Engineering. 2009;(4):41–43. (In Russian).
7. SP 329.1325800.2017. Buildings and structures. Rules of inspection after the fire. Moscow: Ministry of Construction, Housing and Utilities of the Russian Federation; 2017. (In Russian).

Информация об авторе / Information about the author

Дмитрий Валерьевич Курлапов, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры «Строительные конструкции, здания и сооружения», Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Санкт-Петербург

e-mail: Kurlapovdv@mail.ru

тел.: +7 (921) 746-96-34

Dmitry V. Kurlapov, Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor, Department of Structural Constructions, Buildings, Structures, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, St. Petersburg

e-mail: Kurlapovdv@mail.ru

tel.: +7 (921) 746-96-34