

УДК 69.059.4: 624.92.

## **Н.А. ИЛЬИН**

кандидат технических наук, профессор кафедры водоснабжения и водоотведения Самарский государственный архитектурно-строительный университет

## **А.А. ПИЩУЛЁВ**

кандидат технических наук, декан факультета промышленного и гражданского строительства, доцент кафедры строительных конструкций, Самарский государственный архитектурно-строительный университет

## **П.Н. СЛАВКИН**

инженер экспертной организации «Промбезопасность» Самарский государственный архитектурно-строительный университет

## **А.П. ШЕПЕЛЕВ**

ведущий инженер экспертной организации «Промбезопасность» Самарский государственный архитектурно-строительный университет

## **Р.Р. ИБАТУЛИН**

ассистент кафедры строительных конструкций Самарский государственный архитектурно-строительный университет

# **ВОССТАНОВЛЕНИЕ СЖАТЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ**

## *RESTORATION COMPRESSED REINFORCED CONCRETE STRUCTURES BUILDINGS*

*В статье изложены: основные положения метода оценки тяжести термических повреждений сжатых железобетонных элементов конструкций; методы снижения остаточных термических напряжений растяжения в рабочей арматуре сжатого элемента; рекомендации по восстановлению утраченных при пожаре эксплуатационных свойств сжатых элементов железобетонных конструкций зданий и сооружений.*

**Ключевые слова:** здания, железобетонные конструкции, сжатые элементы, рабочая арматура, остаточное напряжение, восстановление свойств, ресурсо-энергосбережение.

**1. Общие сведения.** В условиях термического воздействия несущие железобетонные конструкции повреждаются в различной степени. Степень термического поражения сжатых железобетонных элементов стропильных ферм и колонн характеризуется величиной деструктивного слоя бетона, прогретого выше критической температуры (порядка 550 °С), температурой отжига арматурной стали и остаточными напряжениями в ней. Железобетонные колонны в зависимости от разрушительности огневого воздействия на защитный слой бетона могут быть

*The article describes the main provisions: a method for assessing the severity of thermal damage of compressed reinforced concrete structural elements; methods of reducing residual tensile thermal stresses in compressed working armature element; recommendations for restoring lost in fire performance of compressed elements of reinforced concrete structures of buildings and installations.*

**Keywords:** buildings, reinforced concrete constructions, elements, compressed working armature, residual voltage, repair resoursoènergo conservation properties.

отнесены к одной из четырех степеней термического поражения (СТП):

1) СТП-1 - слабые термические поражения: толщина деструктивного слоя в пределах (0,25-0,50) *a*, нагрев арматуры 50-200 °С, - нормативное состояние конструкции;

2) СТП-2 - лёгкие термические поражения: глубина деструктивного слоя бетона в пределах (0,5-1,0) *a*, степень предшествующего нагрева арматуры в диапазоне 200-500 °С, - работоспособное техническое состояние конструкций;

3) СТП-3 - слабые термические поражения: толщина деструктивного слоя в пределах (1,0-1,25) *a*, температура отжига арматурной стали в диапазоне 500-700 °С, ограниченно – работоспособное техническое состояние конструкций ;

4) СТП-4 - тяжёлые термические поражения: глубина деструктивного слоя бетона более 1,25*a*, температура отжига арматуры свыше 700 °С, - аварийное состояние.

**Примечание.** Приведенная классификация колонн по степени термического поражения применима в данном случае для сжатых железобетонных элементов, выполненных с применением тяжелого бетона классов В20, В25, В30 и горячекатаной арматуры классов по прочности А300, А400 (А-II, А-III) Ø 26-28 мм, глубина залегания – осевое расстояние – *a* = 64 мм, процент армирования  $\mu \cong 1\%$ .

На качество отожженной арматуры стали влияют степень ее нагрева, состав окружающей газовой среды в процессе горения, условия ее нагрева и охлаждения. По условиям нагревания арматуры в сечении элемента в условиях пожара различают два случая. В первом случае освобожденная от бетона арматурная сталь подвергается непосредственному газопламенному воздействию. Во втором случае арматура в период огневого воздействия находится за защитным слоем бетона. По скорости нагрева-охлаждения арматуры элемента различают быстрый нагрев-охлаждение вследствие термического удара и медленный нагрев-остывание арматуры вместе с бетоном.

В данном случае рассматривают аспекты качества отожженной арматуры, которые определяют работоспособность железобетонных элементов, т.е. вопросы прочности и эксплуатационной надежности (огнесохранности) поврежденных колонн.

В рабочей арматуре сжатых железобетонных элементов, в том числе и в колоннах, получивших 3 и выше степень термического поражения (СТП-3, СТП-4), возможно образование остаточных термических напряжений.

**Пример.** В процессе обследования здания была проведена оценка остаточных напряжений в рабочей арматуре колонн. Величина остаточных термических напряжений в рабочей арматуре колонн находится в пределах 29,5-98,1 МПа, или 300-1000 кг/см<sup>2</sup>.

Остаточные напряжения, возникающие в сжатых железобетонных элементах после термического воздействия, делают надежность строительных конструкций неопределенной. Следовательно, наличие остаточных напряжений в рабочей арматуре колонн требует их снижения до приемлемого уровня.

При оценке несущей способности железобетонных колонн, пораженных термическим воздействием, ее необходимо произвести в соответствии со СП 63.13330. 2012 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения». Правила обследования и мониторинга технического состояния» с учетом СТП СГАСУ 33.05 «Безопасность железобетонных сооружений, поврежденных пожаром»<sup>1,2,3,4</sup>.

При подготовке проекта производства работ (ППР) на восстановление поврежденного здания и в процессе реконструкции, ремонта или усиления конструкций следует соблюдать требования безопасности согласно Техническим регламентам и государственным стандартам [1-4]; СНИП 12-03-2001; СНИП 12-04-2002; ППБ 01-03<sup>5,6,7</sup>.

**2. Основные требования безопасности.** Безопасность строительных конструкций обеспечивают в следующих случаях ее работы: 1) на стадии развития возможного (повторного) пожара; 2) в условиях затухания пожара и непосредственно после него; 3) в процессе проведения восстановительных работ; 4) при дальнейшей эксплуатации в здании .

Безопасность строительных конструкций в условиях огневого воздействия (огнестойкость) обеспечивают системой пожарной защиты сооружений.

Безопасность поврежденной строительной конструкции непосредственно после пожара (огнесохранность) или в процессе ее восстановления характеризуется, с одной стороны, остаточной несущей способностью и, с другой стороны, величиной усилия в опасном сечении от действующих нагрузок и воздействий. В этих случаях безопасность конструкций определяет коэффициент безопасности не менее 1,30.

Безопасность состояния конструкций, поврежденных пожаром, подтверждают расчетом исходя из: 1) неблагоприятного влияния высоких температур и агрессивной газовой среды пожара на основные характеристики материалов железобетона; 2) невыгодных фактических величин и сочетания нагрузок и воздействий; 3) условий фактического состояния и особенностей работы конструкций, включая возможность образования в сжатых зонах сечений термического напряжения.

<sup>1</sup> СП 63.13330.2012. СНИП 52-01-2003. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные понятия.

<sup>2</sup> ГОСТ Р 53 778-2010. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния.

<sup>3</sup> Рекомендации по обследованию зданий и сооружений, поврежденных пожаром / НИИЖБ; КУИСИ. М.: Стройиздат, 1989. 80 с.

<sup>4</sup> СТП КуИСИ 33.05-90. Безопасность железобетонных сооружений, поврежденных пожаром. Общие положения. Самара, 1990. 28 с.

<sup>5</sup> СНИП 12-03-2001. Безопасность труда в строительстве. Часть 1.

<sup>6</sup> СНИП 12-04-2002. Безопасность труда в строительстве. Часть 2.

<sup>7</sup> ППБ 01-03. Правила пожарной безопасности в РФ (2012 г.).

Оценку безопасности состояния конструкций обеспечивают расчетом на силовые воздействия по методу разрушающих усилий. При расчете поврежденных конструкций на безопасность определяют общий коэффициент запаса по несущей способности (прочности и устойчивости) строительных конструкций и их элементов. Запас остаточной прочности элементов конструкции и устойчивости поврежденной конструкции определяют по отношению к их разрушающим усилиям. Отношение усилий, вызывающих разрушение, к усилиям, возникающим в конструкциях сооружения от действительного (расчетного) силового воздействия, представляет собой общий коэффициент безопасности поврежденной строительной конструкции. Расчет несущей способности поврежденной конструкции состоит в определении разрушающих усилий при натуральных размерах сечений, фактических характеристиках свойств материалов железобетона и в определении общего коэффициента безопасности конструкции.

Строительные конструкции здания, поврежденного пожаром, необходимо предохранять от *внезапных разрушений* и обрушений, происходящих вследствие: 1) перегрузки, термонапряжения сечений; 2) ударов и других механических воздействий; 3) разрушающих воздействий климатических факторов.

Предотвращение конструкций от перегрузки обеспечивают: 1) запрещением установки на поврежденные конструкции технологического оборудования (даже во время его демонтажа); 2) удалением обрушенных частей сооружений, уборкой обломков и воды; 3) запрещением складирования материалов и изделий, а также навала грунта, исключая боковое давление на стены, колонны и другие строительные конструкции.

Поврежденные огнем строительные конструкции при необходимости предохраняют от разрушающего воздействия климатических факторов: дождя, снега, переменного увлажнения, замораживания и оттаивания. Основания и фундаменты сооружений предохраняют от воздействия пролитой воды.

В зданиях, поврежденных пожаром, не допускается: 1) эксплуатация строительных кранов; 2) работа тельферов с боковой оттяжкой груза; 3) производство земляных работ; 4) ослабление несущих конструкций и частей сооружения; 5) пристройка временных помещений и т.д.

**3. Подготовка к ВТ-отпуску рабочей арматуры колонн, поврежденных термическим воздействием.** Производят детальное освидетельствование

железобетонных элементов, поврежденных огнем, определяют участки и степень их термического поражения по длине элемента. От поврежденных элементов конструкций откалывают деструктивный слой бетона с помощью молотка. При этом отбивают трещиноватый, *легко осыпавшийся слой бетона* прочностью на сжатие 1-5 МПа (10-50 кгс/см<sup>2</sup>), нагретый в условиях пожара до 500-550 °С и более.

На участках железобетонного элемента, имеющих третью и выше степень термического поражения (СТП-3, -4), рабочую арматуру полностью освобождают от *деструктивного бетона*. Под этим подразумевают всесторонний откол деструктивного бетона вокруг арматуры, т.е. по всему периметру поперечного сечения оголяемого стержня, и на всю толщину перекаленного бетона.

Длину участка элемента конструкции, имеющего термические повреждения СТП-3 и выше, указывают на карте обследования колонны и протоколируют.

Местному высокотемпературному отпуску (ВТ-отпуск) участка рабочей арматуры подвергают стальные стержни, обнаженные от бетона полностью, т.е. по всему их поперечному сечению. Назначают участки местного нагрева стержневой рабочей арматуры и места для установки измерительных датчиков деформаций, рассчитывают допустимую длину зоны ВТ-отпуска, устанавливают, по необходимости, датчики деформаций на арматурные стержни.

Допустимую длину  $l_{\min}$ , мм, зоны местного ВТ-отпуска стального стержня определяют по формуле

$$l_{\min} = l_1 \cdot \sigma_0 / (\alpha_{sm} \cdot t_s \cdot E_s), \quad (1)$$

где  $l_1$  - длина участка стального стержня, полностью освобожденная от окружающего его бетона, мм;  $\sigma_0$  - продольно-осевые остаточные напряжения, МПа (кгс/см<sup>2</sup>);  $\alpha_{sm}$  - коэффициент температурного расширения стали, 1/°С;  $t_s$  - степень нагрева арматурного стержня, °С (температура отпуска стали);  $E_s$  - модуль упругости арматуры, МПа (кгс/см<sup>2</sup>).

ВТ-отпуск самонапряженной горячекатаной арматурной стали производят при *температуре*  $t_{уз}$ , °С, величину которой определяют по формуле

$$t_{уз} = 300 \cdot (2,53 - J_{o\sigma}), \quad (2)$$

$$J_{o\sigma} = \sigma_{02} / R_{sn}, \quad (3)$$

где  $\sigma_{02}$  - остающиеся остаточные напряжения после ВТ-отпуска арматуры, МПа;  $R_{sm}$  - нормативное сопротивление арматуры растяжению, МПа;  $J_{ос}$  - относительная величина интенсивности остающихся остаточных напряжений после ВТ-отпуска арматурной стали. Эта величина может быть принята техническими условиями, например, равная 0,2.

**Пример.** Дано: арматура класса по прочности А400 (А-III), модуль упругости  $E_s = 2 \cdot 10^6$  кгс/см<sup>2</sup>, участок бетона  $\ell_s = 2,4$  м ( $24 \cdot 10^2$  мм); продольно-осевые остаточные напряжения  $\sigma_0 = 1800$  кгс/см<sup>2</sup>; температура ВТ-отпуска стали  $t_s = 650$  °С,  $t_0 = 50$  °С.

Коэффициент температурного расширения стали:

$$\alpha_{sm} = \alpha_{st} [1 + 6 \cdot 10^{-4} \cdot (t_s - t_0)] = \\ = 11,5 \cdot 10^{-6} [1 + 6 \cdot 10^{-4} \cdot (650 - 50)] = 15,6 \cdot 10^{-6}, \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}.$$

Расчетная минимальная длина зоны ВТ-отпуска стержня рабочей арматуры

$$\ell_{\min} = \ell_s \cdot \sigma_0 / (E_s \cdot d_{sm} \cdot t_s) = \\ = 24 \cdot 10^2 \cdot 15,6 \cdot 10^{-6} \cdot 650 = 0,96 \cdot 10^2 \text{ мм} \cong 10 \text{ см}.$$

Принимаем длину зоны отпуска рабочих стержней  $\varnothing 28$  мм, равной  $10 \pm 2$  см, что в пределах  $3d = 3 \cdot 2,8 = 8,4$  см.

**4. Высокотемпературный отпуск (ВТ-отпуск) самонапряжённой арматуры.** Перед началом местного нагрева (ВТ-отпуска) арматурного стержня проводят подготовительные работы, изложенные в п. 3 статьи.

Температуру отпуска горячекатаной арматурной стали классов по прочности А240, А300, А400 принимают в пределах  $680 \div 720$  °С, т.е.  $700 \pm 20$  °С. Длительность воздействия ( $\tau_0$ , мин) высокой температуры, ВТ-отпуска на арматурный стержень определяют по формуле

$$\tau_0 = \tau_n \cdot \tau_e = 0,5 \cdot d_s + (5 + 1 \cdot d_s), \quad (5)$$

где  $\tau_n$  и  $\tau_e$  - соответственно длительность нагрева до расчетной температуры ВТ-отпуска и выдержка при ней, мин.

**Пример.** При  $d_s = 28$  мм,  $\tau_0 = 0,5 \cdot d_s + (5 + 1 \cdot d_s) = 0,5 \cdot 28 + (5 + 1 \cdot 28) = 14 + 33 = 47 \pm 5$  мин.

Местный нагрев арматурного стержня в зоне ВТ-отпуска должен удовлетворять равномерности ее прогрева по всей принятой длине и по его попереч-

ному сечению (круговой обогрев круглого стержня). При одностороннем воздействии пламени на арматурный стержень непосредственно за ним устанавливают с небольшим зазором металлический отражающий экран. В случае, когда в поперечном сечении железобетонного элемента имеются несколько термически напряженных стержней, местный нагрев их производят одновременно (в необходимых случаях с разгрузкой, установкой страховочных опор или принятием других мер безопасности). Местный ВТ-отпуск арматурных стержней может быть произведен электрическим током или газопламенным нагревом (паяльными лампами, газовыми горелками). ВТ-отпуск стальной арматуры железобетонного элемента относится к огневым работам, которые выполняют в соответствии с правилами пожарной безопасности (ППБ 01-03) и строительными нормами СНиП 12-03, ГОСТ 12.3.003-86, ГОСТ 12.3.036-84.

После подготовки к проведению ВТ-отжига арматурных стержней ответственный за проведение этих работ обязан удалить из восстанавливаемого сооружения баллоны с газами, ацетиленовые генераторы, емкости с горючими жидкостями в специально отведенные места, а также отключить электрические и газовые аппараты.

Изменение относительной прочности ( $\gamma_{sm}$ ) арматурных сталей в зависимости от степени её предыдущего нагрева ( $t$ , °С) определяют по формулам:

$$\text{для классов А 240, А 300, - } \gamma_{sm} = 1 / e^{0,16 \cdot 10^{-6} \cdot t^2}; \quad (6)$$

$$\text{для классов А 600(80С) - } \gamma_{sm} = 1 / e^{0,95 \cdot 10^{-6} \cdot t^2}; \quad (7)$$

$$\text{для классов А 600(2ХГ2Ц) - } \gamma_{sm} = 1 / e^{0,77 \cdot 10^{-6} \cdot t^2}; \quad (8)$$

$$\text{для классов В 500; бр 500 - } \gamma_{sm} = 1 / e^{10^{-6} \cdot t^2}; \quad (9)$$

$$\text{для класса А 400, - } \gamma_{sm} = 1^{t/600} / e^{(t/600)^2}; \quad (10)$$

$$\text{для классов Вр1200÷1500; К 1400÷1700, - } \gamma_{sm} = \\ = 1 / e^{1,9 \cdot 10^{-6} \cdot t^2}. \quad (11)$$

**5. Ремонт бетона.** Деструктивный слой бетона отбивают с помощью слесарного или пневматического молотка. Сначала отбивают бетон, поврежденный огнем, с тела железобетонного элемента. Затем производят местный ВТ-отпуск стержней рабочей арматуры, напряженной вследствие совместного действия внешней сжимающей нагрузки и высокой тем-

пературы пожара. Оголенные стержни до бетонирования очищают механическим способом.

До укладки нового бетона (раствора) на поверхность железобетонного элемента обрабатывают места контактов старого бетона с новым струйным методом (гидро-, песко-, газо-, термоструйным) с последующим смачиванием водой обработанных поверхностей за 1-3 часа перед нанесением дополнительного покрытия. Ремонт железобетонного элемента выполняют цементной пастой, раствором, бетоном на портландцементе, раствором на основе жидкого стекла, полимерцементным раствором или бетоном.

Нанесение составов раствора или бетона на разрушенные части элементов осуществляют механизированным способом или вручную. Перерыв в бетонировании слоев бетона не должен превышать 1 час. Выравнивающие слои наносят на обработанную поверхность старого бетона толщиной не более 2 см за один прием. Ремонт защитного слоя бетона консолей колонн осуществляют также обетонированием, торкретированием или набрызгом. Класс нового бетона по прочности на сжатие принимают на одну ступень выше класса бетона ремонтируемой сжатой конструкции, но не ниже класса В25 для элементов, работающих на сжатие. Торкретирование производят растворами не ниже класса В 15 (марка М-200) составом 1:3 – цемент: песок; портландцемент М 500, песок кварцевый.

Торкретные работы производят с соблюдением следующих положений:

- 1) поверхность ремонтируемого участка очищают от штукатурки, краски, загрязнений, слоев бетона, поврежденного огнем;
- 2) перед нанесением торкретбетона поверхность элемента промывают водой из шланга под давлением 0,3-0,5 МПа (3-5 атм);
- 3) в зависимости от требуемой толщины вновь укладываемого бетона торкретбетон наносят в несколько слоев при толщине каждого слоя от 1 до 2 см; каждый последующий слой наносят после схватывания предыдущего, но не позднее чем через сутки;
- 4) перед нанесением последующего слоя ремонтируемую поверхность смачивают водой;
- 5) все наносимые слои, за исключением последнего, оставляют без затирки;
- 6) отремонтированная поверхность конструкций должна находиться во влажном состоянии 10-14 суток, для этого нанесенный бетон периодически смачивают водой.

Изменение условий работы бетона сопротивлению сжатия ( $m_{bt}$ ) в зависимости от степени его нагрева ( $t$ , °С) описывается уравнением

$$m_{bt} = 1/e^{0.5(t/t_{cr})^n},$$

здесь  $t_{cr}$  - критическая температура: а) для тяжелого бетона на гранитном щебне  $t_{cr} = 575$  °С;  $n = 4,2$ ; б) для тяжелого бетона на известняковом щебне  $t_{cr} = 680$  °С;  $n = 1,2$ ; в) для силикатобетона крупнозернистого  $t_{cr} = 575$  °С;  $n = 4,9$ ; г) для керамзитобетона  $t_{cr} = 730$  °С;  $n = 1,65$ .

Ремонтно-строительные работы следует производить с соблюдением требований охраны здоровья, безопасности труда и пожарной профилактики.

**6. Требования пригодности.** Эксплуатационная пригодность строительных конструкций должна обеспечиваться после их восстановления в период дальнейшей эксплуатации сооружения. Экономическая целесообразность принятых решений при восстановлении сооружений определяется применительно к конкретным условиям восстановления конструкций с учетом максимального снижения показателей: прямого и косвенного ущерба от пожара; материалоемкости и трудоемкости; стоимости и сроков восстановления. Снижение основных *экономических* показателей восстановления строительных конструкций достигается путем: 1) применения эффективных **экологически безопасных** материалов и конструкций; 2) снижения массы восстанавливаемых конструкций; 3) наиболее полного использования свойств материалов поврежденных конструкций и дополнительно уложенных бетона и арматуры; 4) максимального использования материалов поврежденных строительных конструкций; 5) соблюдения требований по экономному расходованию основных строительных материалов.

Эксплуатационная *пригодность* восстановленных железобетонных конструкций обеспечивается расчетом, в котором учитываются: 1) неблагоприятные воздействия на свойства материалов; 2) невыгодные возможные величины и сочетания нагрузок и воздействий; остаточные температурные напряжения; 3) условия эксплуатации и особенности работы конструкций.

При восстановлении поврежденных конструкций соблюдают все требования нормативных документов и технических условий, предъявляемые к качеству дополнительно уложенных материалов, из-

делий, производству работ, а также к последующей эксплуатации зданий.

Восстановленные строительные конструкции обеспечивают расчетом на силовые воздействия по методу *предельных состояний*. Под предельным состоянием восстановленных конструкций понимают такое, при котором конструкция перестает удовлетворять заданным эксплуатационным требованиям или требованиям при восстановлении. Под *силовым воздействием* понимаются как непосредственные силовые воздействия от нагрузок, так и воздействия от смещения опор, изменения температуры, усадки и других подобных явлений, вызывающих реактивные силы. Кроме расчетов на силовые воздействия, восстанавливаемые железобетонные конструкции необходимо обеспечивать и другими расчетами, в том числе теплотехническими расчетами сечений конструкций, расчетами на огнестойкость, предусмотренными соответствующими нормами проектирования конструкций.

Строительные конструкции, восстановленные после пожара, рассчитывают на эксплуатационную пригодность с учетом возможных неблагоприятных сочетаний нагрузок и воздействий. Вероятность этих сочетаний учитывают коэффициентами сочетаний в соответствии с нормативными документами по нагрузкам и воздействиям.

Расчет на устойчивость положения восстановленных конструкций следует производить исходя из предельного состояния, при котором невыгодные усилия от расчетных нагрузок достигают предельных значений, соответствующих нарушению равновесия в рассматриваемой системе взаимодействующих тел.

**7. Организационные мероприятия.** Совокупность организационных мероприятий включает в себя: 1) обеспечение пожарной защиты восстанавливаемых строительных конструкций зданий; 2) организацию обучения и соответствующих инструктажей инженерно-технического персонала строительных организаций и экспертных групп, занимающихся вопросами обследования поврежденных конструкций и восстановлением зданий, пораженных пожаром; 3) разработку и реализацию соответствующих рекомендаций по определению фактического состояния и оценке коэффициентов безопасности поврежденных строительных конструкций непосредственно после пожара и в условиях их восстановления; 4) разработку проектов организации и проектов производства работ на восстановление зданий с учетом требований безопасности; 5) разработ-

ку соответствующих разделов строительных норм и правил, обеспечивающих надежную повторную эксплуатацию восстановленных строительных конструкций зданий после пожара.

К лицам, допускаемым к проведению восстановительных работ, предъявляются требования строительных норм и правил по безопасности труда в строительстве. Не разрешается допускать к работе лиц, профессия и квалификация которых не соответствует характеру выполняемой работы.

Восстановление поврежденных конструкций производят по проекту, разработанному специализированной организацией, при необходимости: 1) снятия продольно-осевых термических остаточных напряжений в рабочей арматуре; увеличения сечения продольной и поперечной арматуры, ослабленной вследствие воздействия высокой температуры; 2) усиления рабочего сечения бетона, ослабленного вследствие значительного прогрева свыше температуры деструкции бетона (порядка 550-600 °С); увеличения несущей способности и уменьшения деформативности конструкций, сниженных в результате отклонения от первоначальных (до пожара) прочностных и деформативных характеристик бетона;

3) устранения повреждений в сопряжениях элементов, ухудшающих условия заделки, опирания элементов или анкеровки рабочей арматуры.

**Выводы.** В статье изложены: *а) основные положения метода оценки тяжести термических поврежденных сжатых железобетонных элементов конструкций; б) методы снижения остаточных термических напряжений растяжения в рабочей арматуре сжатого элемента; в) рекомендации по восстановлению утраченных при пожаре эксплуатационных свойств (включая экологическую безопасность) сжатых элементов железобетонных конструкций зданий и сооружений.*

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ФЗ №123-2003. Технический регламент о требованиях к пожарной безопасности (2012 г.) .
2. ГОСТ 12.1.013-72. Строительство. Электробезопасность.
3. ГОСТ 12.2.008-75. Оборудование и аппаратура для газопламенной обработки металлов. Требования безопасности.
4. ГОСТ 12.3.0036-84. Газопламенная обработка металлов. Требования безопасности.

© Ильин Н.А., Пищулёв А.А., Славкин П.Н., Шепелев А.П., Ибатуллин Р.Р., 2013