

## Воздействие высоких температур пожара на строительные конструкции

*К.т.н., доцент ГОУ ВИТУ Д.В. Курлапов\**

В результате пожаров в зданиях повреждаются их конструкции вплоть до полного разрушения. Степень огневого воздействия на строительные конструкции зависит от их материала, размеров, температуры и длительности пожара.

### *Деревянные конструкции*

При огневом воздействии на деревянные конструкции из них выделяются горючие газы, которые сгорают вне древесины. Под действием перегонки древесина нагревается и обугливается. Влажность древесины уменьшается, а прочность необугленных слоев конструкции возрастает. При заливе пожара водой древесина увлажняется, и ее прочность становится равной той, которую она имела до пожара.

При восстановлении деревянной обгоревшей конструкции весь обуглившийся слой древесины должен быть удален, т. к. он длительное время сохраняет неприятный запах. В деревянных конструкциях определяют сечение элементов за вычетом толщины обугливания.

Расчетное сопротивление древесины при этом принимают как для древесины, не подвергшейся огневому воздействию.

### *Стальные конструкции*

Стальные конструкции выполняются из малоуглеродистой стали. При нагреве стальных элементов выше 600°C они получают большие деформации и не могут быть использованы по назначению.

Усиление стальных конструкций, подвергшихся огневому воздействию при пожаре, производится теми же методами, что и конструкций, не поврежденных пожаром. В стальных элементах определяют их сечение, при этом учитывая время возведения здания. Определяются прогибы в вертикальной и горизонтальной плоскости.

Расчетное сопротивление стали принимают в зависимости от времени выпуска стального проката без учета огневого воздействия. При этом учитывают наличие искривлений оси поврежденного элемента.

### *Каменные конструкции*

Каменные конструкции (стены, столбы, своды) повреждаются с поверхности. Повреждения выражаются глубиной шелушения кирпича. При этом конструкции из силикатного кирпича получают более глубокие повреждения по сравнению с конструкциями из керамического кирпича.

В результате тепловых воздействий при пожарах каменные стены и своды могут получить большие деформации, приводящие к образованию трещин. Усиливают каменные конструкции, поврежденные пожаром, так же, как и конструкции, не подвергшиеся огневому воздействию.

Остаточная несущая способность каменной кладки также зависит от температуры и длительности пожара. Камни кладки и раствор повреждаются только на ее поверхности. В расчетах остаточной несущей способности необходимо учитывать наличие трещин в кладке.

### *Железобетонные конструкции*

Наиболее сложным является учет степени огневого повреждения при пожарах железобетонных конструкций. Разнородность материалов, составляющих железобетон, при нагреве приводит к разным температурным деформациям, нарушает связь между цементным камнем, крупным и мелким заполнителем и арматурой. В результате в железобетонных элементах происходят необратимые изменения механических свойств, снижение прочности на сжатие и растяжение, дополнительные прогибы.

Изменения механических свойств бетона при его нагреве и последующем охлаждении в настоящее время оцениваются очень приблизительно. Это затрудняет определение несущей способности железобетонных элементов, подвергшихся огневому воздействию при пожаре и последующему охлаждению, особенно для сжатых элементов.

Обычно после пожара нет точных данных о температуре нагрева конструкций и продолжительности пожара. Приходится судить об этом по состоянию и цвету поверхности железобетонных конструкций после

огневого воздействия пожара на них. Это снижает точность определения остаточной прочности железобетонных элементов после пожара.

При расчетах остаточной несущей способности железобетонных элементов сечение элемента разделяют на полосы толщиной, в зависимости от размеров сечения элемента, 50...100 мм.

Расчетное сопротивление бетона определяется путем умножения расчетного сопротивления неповрежденного бетона на понижающие коэффициенты, вычисляемые по таблицам и графикам.

При нагреве бетона свыше 500°C его сопротивление сжатию и сопротивление арматуры, расположенной в нем, принимаются равными нулю. Растянутую арматуру класса А-240, А-300, А-400 и А-500, нагретая до температуры выше 600°C, также не учитывают в расчетах.

Расчётное сопротивление сжатию слоёв бетона, повреждённых огнём, после охлаждения можно определить по формуле

$$R_{bl}^{\circ} = \gamma_{bl}^{\circ} \cdot R_b, (1)$$

где  $\gamma_{bl}^{\circ}$  – коэффициент снижения расчётного сопротивления бетона сжатию после охлаждения в зависимости от температуры нагрева.

Расчётное сопротивление при растяжении слоёв бетона, повреждённых огнём, определяется по формуле:

$$R_{bt.l}^{\circ} = \gamma_{bt.l}^{\circ} \cdot R_{bt}, (2)$$

где  $\gamma_{bt.l}^{\circ} = \gamma_{bl}^{\circ} - 0,2(1 + 0,1t)$ ;

$t$  – температура нагрева бетона.

Глубину прогрева бетона в зависимости от температуры прогрева поверхности конструкций и длительности воздействия высоких температур можно определить по графику на рис. 1.

Начальный модуль упругости бетона, подвергавшегося нагреву и последующему охлаждению, определяют по формуле:

$$E_{bl}^{\circ} = \beta_b \cdot E_b, (3)$$

где  $\beta_b$  – коэффициент снижения модуля упругости бетона.

$$\beta_b = 1 - kt (4)$$

Значение  $k$  для тяжёлого бетона равно  $0,17 \cdot 10^{-2}$ , для керамзитобетона  $0,10 \cdot 10^{-2}$ . Снижение модуля упругости бетона при нагреве необратимо после охлаждения.

При нагреве бетона свыше 500°C модуль упругости не учитывается в расчётах прочности и деформативности конструкции.

Значения расчётного сопротивления арматуры растяжению при нагреве и последующем охлаждении определяются по формуле:

$$R_{sl}^{\circ} = \gamma_{sl}^{\circ} \cdot R_s, (5)$$

где  $\gamma_{sl}^{\circ}$  – коэффициент снижения расчетного сопротивления арматуры растяжению в зависимости от температуры нагрева.

Для арматурной стали классов А-240, А-300, А-400, расположенной в растянутой зоне, при размере меньшей стороны сечения элемента более 300 мм и температуре нагрева арматуры до 500°C, и размере меньшей стороны сечения элемента менее 300 мм, и температуре нагрева до 600°C  $\gamma_{sl}^{\circ} = 1$ .

При меньшем размере стороны сечения элемента более 300 мм и температуре нагрева арматуры более 500°C, и меньшем размере стороны сечения элемента менее 300 мм, и температуре нагрева арматуры более 600°C  $\gamma_{sl}^{\circ} = 0$ .

Для арматурной стали класса А-500, А-600 при температуре нагрева арматуры до 400°C  $\gamma_{sl}^{\circ} = 1$ , а при температуре нагрева арматуры более 400°C  $\gamma_{sl}^{\circ} = 0$ .

Значение расчётного сопротивления арматуры сжатию можно определить по формуле

$$R_{sc}^{\circ} = \gamma_{sl}^{\circ} \cdot \gamma_{s2}^{\circ} \cdot R_s (6)$$

где  $\gamma_{s2}^{\circ}$  – коэффициент, учитывающий снижение сцепления арматуры с бетоном после нагрева и охлаждения.

Для стержневой гладкой горячекатаной арматуры

$$\gamma_{s2}^{\circ} = 1 - 0,001t \quad (7)$$

Для стержневой горячекатаной арматуры периодического профиля

$$\gamma_{s2}^{\circ} = 1 - 0,001 \cdot (0,1 + 0,001t) \cdot (8)$$

Модуль деформации арматурной стали после нагрева и последующего охлаждения принимается при  $\gamma_{s1}^{\circ} = 1,0$  как для арматуры, не подвергшейся нагреву.

При учёте неравномерности распределения прочности бетона по толщине элемента, подвергшегося огневому воздействию пожара, производится приведение неравномерно прогретых слоёв бетона к однородному материалу.

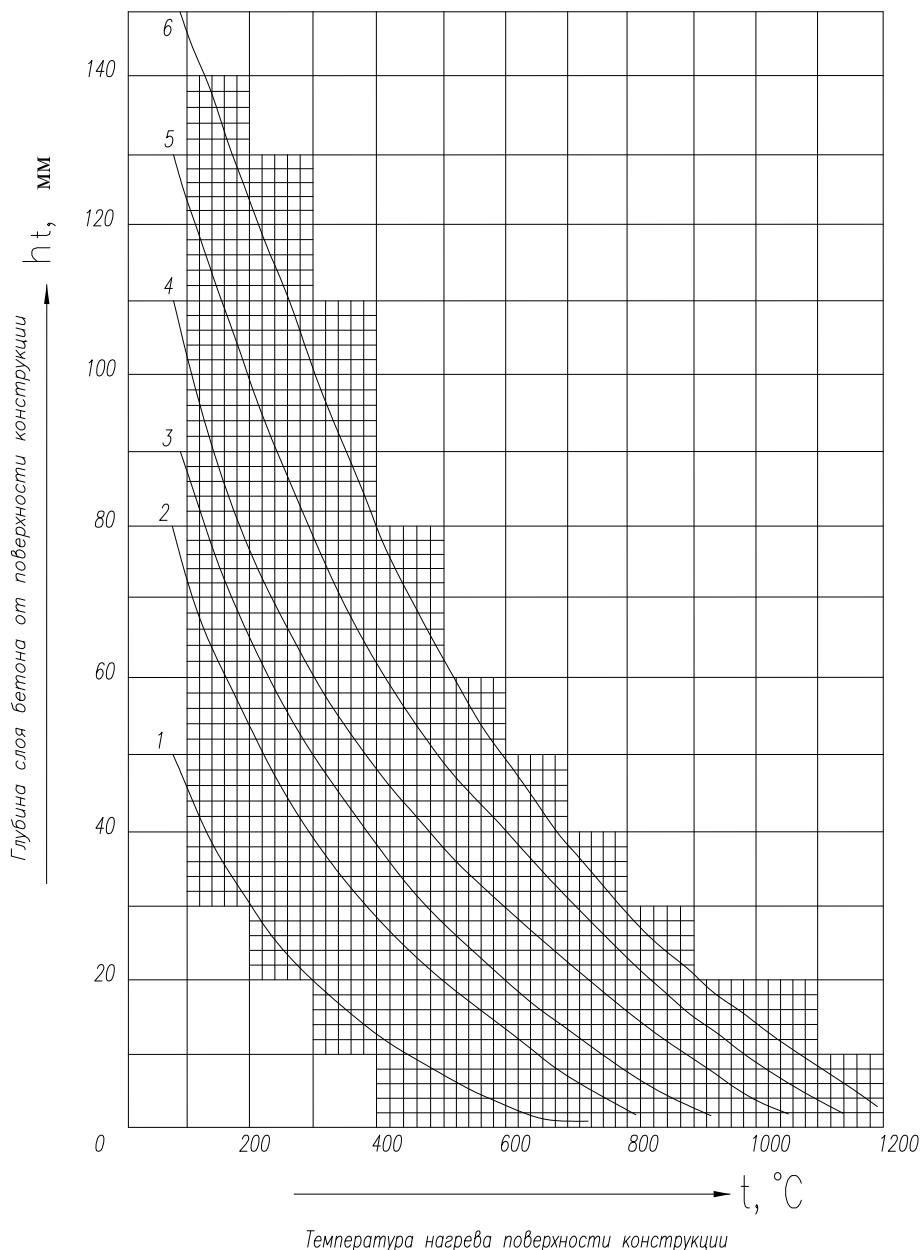
Коэффициент приведения частей (бетонных слоёв) сечения элемента, повреждённого огнём  $\alpha_{bt,i}$ , следует принимать пропорциональным отношению прочности бетона рассматриваемого слоя  $R_{bt,i}^{\circ}$  к прочности основного слоя  $R_{bt,loc}^{\circ}$

$$\alpha_{bti} = \frac{R_{bt,i}^{\circ}}{R_{bt,loc}^{\circ}} \quad (9)$$

Для принятия решения по использованию конструкций, подвергшихся огневому воздействию при пожаре производят техническое обследование пострадавшего здания. Целью технического обследования является определение остаточной несущей способности поврежденных пожаром конструкций.

### Литература

1. Гроздов В.Т. Техническое обследование строительных конструкций зданий и сооружений. СПб., 2004.
2. Методические рекомендации по оценке свойств бетона после пожара / НИИЖБ. М., 1985.
3. СП13-102-203. Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений. М., 2003.



**Рисунок 1. Зависимость температуры в слоях бетона от нагрева поверхности, продолжительности огневого воздействия и расстояния от поверхности: 1 – 0,5 ч; 2 – 1,0 ч; 3 – 1,5 ч; 4 – 2,0 ч; 5 – 3,0 ч; 6 – 4,0 ч. График составлен для условия нагрева конструкции с одной стороны**

\*Дмитрий Валерьевич Курлапов, Военно-инженерный технический университет

Тел. моб. +7(921)746-96-34