
Программа 450 «Расчет по огнестойкости»

Краткое описание

Сечения

Рассматриваются стержневые элементы прямоугольного и круглого сечений, а также плиты.

Для прямоугольного сечения предусмотрены следующие схемы армирования: 1) арматура располагается в углах сечения, 2) арматура располагается вдоль контура сечения, 3) арматура располагается вдоль верхней и нижней сторон сечения, 4) арматура располагается произвольным образом.

В круглом сечении арматурные стержни равномерно распределяются вдоль окружности.

В плите арматура равномерно распределяется вдоль верхней и нижней сторон.

Расчет по огнестойкости

Огнестойкость элемента характеризуется периодом времени (в минутах) от начала пожара до момента возникновения предельного состояния элемента, который называется пределом огнестойкости. Для несущих элементов предельным состоянием по огнестойкости является потеря несущей способности. Предельное состояние наступает тогда, когда предельные усилия становятся равными расчетным усилиям. В программе строится зависимость коэффициента запаса прочности γ_u от времени. Предел огнестойкости определяется по моменту времени, при котором $\gamma_u = 1$.

Экспериментально установлено, что разрушение железобетонного элемента при огневом воздействии происходит аналогично разрушению при нормальной температуре. Предельные усилия при огневом воздействии определяются на основе диаграмм деформирования сжатого бетона и арматуры при тех же предположениях, что и при нормальной температуре. Основными предположениями являются следующие: деформации распределяются по линейному закону, напряжения в растянутом бетоне пренебрежимо малы. При определении предельных усилий при огневом воздействии учитывается зависимость прочностных и деформационных характеристик материалов от температуры.

Расчеты по огнестойкости согласно СТО НИИЖБ [1] и Eurocode 2 [2] не имеют принципиальных различий, но имеют различия в зависимостях от температуры теплофизических, прочностных и деформационных характеристик бетона и арматуры. Также различными являются диаграммы деформирования материалов.

Определение температурного поля

Для определения предела огнестойкости необходимо рассчитать температурное поле в сечении элемента от огневого воздействия. Температурное поле $T(y, z, t)$ определяется на основе уравнения нестационарной теплопроводности

$$\frac{\partial}{\partial y}(\lambda \frac{\partial T}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z}(\lambda \frac{\partial T}{\partial z}) = c\rho \frac{\partial T}{\partial t}$$

Здесь λ - коэффициент теплопроводности, c - удельная теплоемкость, ρ - плотность материала.

Огневое воздействие характеризуется зависимостью температуры среды от времени, отсчитываемого от начала пожара. Согласно ГОСТ 30247.0-94 «Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Общие требования» при стандартном пожаре принимается следующая зависимость температуры среды от времени:

$$T_0 = 20 + 345 \lg(8t + 1)$$

где t - время в мин. График зависимости $T_0(t)$ представлен на рис.1.

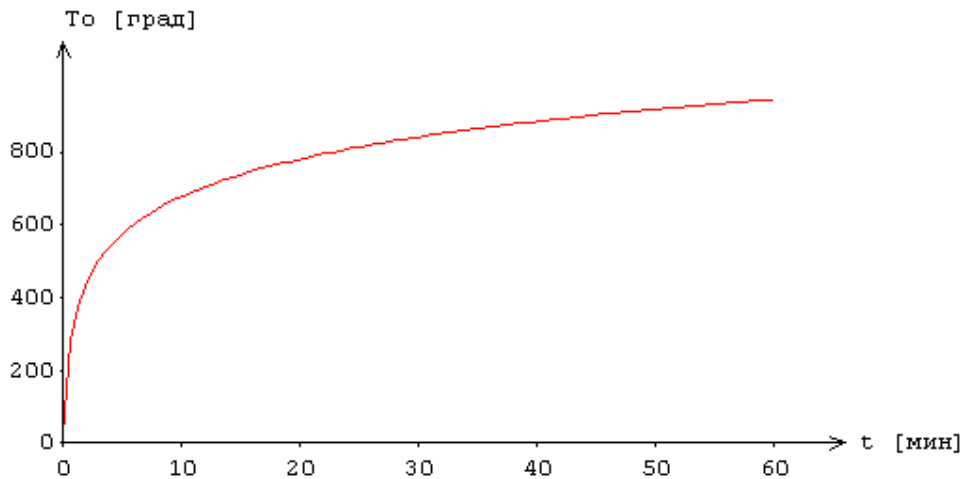


Рис.1. Зависимость температуры среды от времени

Температурная задача решается конечноразностным методом. Производная $\frac{\partial T}{\partial t}$ заменяется разностным отношением

$$\frac{T(y, z, t + \Delta t) - T(y, z, t)}{\Delta t}$$

где Δt - шаг по времени. Расчет температурного поля в сечении производится для дискретных моментов времени.

После определения температуры на конечноразностной сетке температура в произвольной точке сечения определяется интерполяцией. В качестве примера на рис.2 приведены изотермы, полученные при трехстороннем нагреве квадратного сечения.

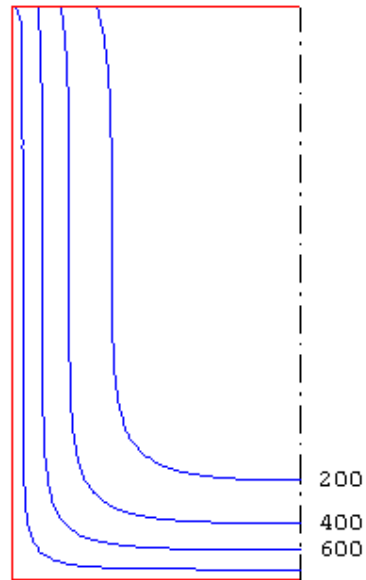
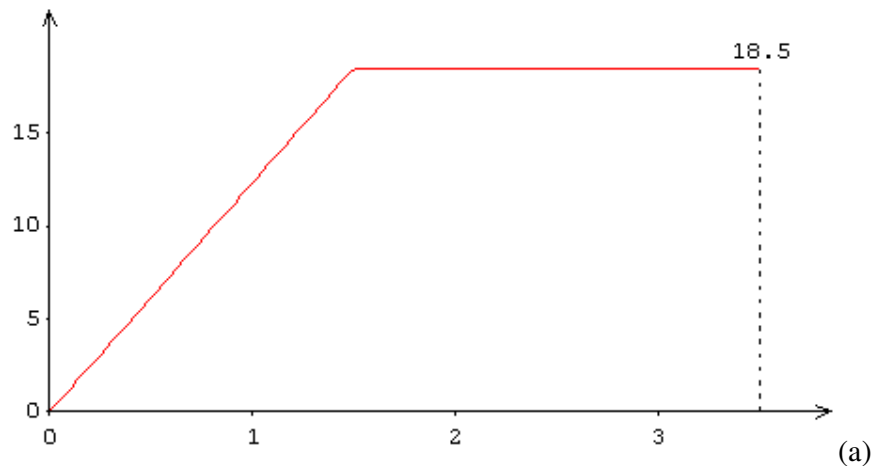


Рис.2. Изотермы на половине сечения при трехстороннем нагреве

Определение предельных усилий

Предельные усилия при огневом воздействии определяются на основе диаграмм деформирования сжатого бетона и арматуры. При этом учитывается зависимость диаграмм от температуры. Нормативные сопротивления сжатого бетона и арматуры при нормальной температуре принимаются согласно СП 52-101-2003 [3]. Предусмотрена возможность задания материалов с ненормированной прочностью.

На рис.3 приведены диаграммы деформирования сжатого бетона при температуре 20°C и 500°C , построенные по данным СТО НИИЖБ. По оси ординат откладывается напряжение σ [МПа], по оси абсцисс – деформация ε [‰] ($1\text{‰}=0.1\%=0.001$).



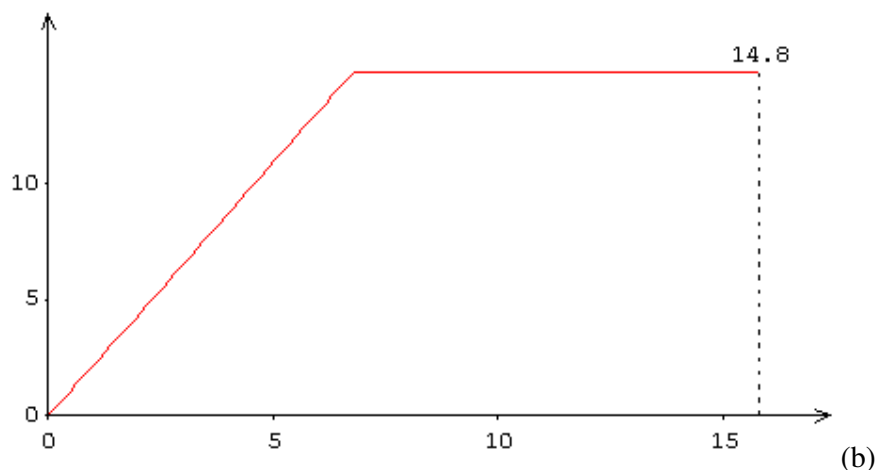


Рис.3. Диаграмма для сжатого бетона согласно СТО НИИЖБ при 20⁰С (а) и 500⁰С (б)

Диаграммы деформирования сжатого бетона согласно СТО НИИЖБ характеризуются нормативным значением сопротивления бетона при повышенной температуре R_{bnt} , значением деформации ϵ_{b1} , при которой достигается напряжение R_{bnt} , и предельной деформацией ϵ_{b2} .

В табл.1 приведены данные для построения диаграмм деформирования сжатого бетона по СТО НИИЖБ. Через R_{bn} обозначается нормативное сопротивление сжатого бетона при нормальной температуре. Значения $\frac{R_{bnt}}{R_{bn}}$ даны в СТО НИИЖБ до температуры 800⁰С, а значения деформаций – до температуры 500⁰С.

Таблица 1

Т [⁰ С]	$\frac{R_{bnt}}{R_{bn}}$ (силикатный заполнитель)	$\frac{R_{bnt}}{R_{bn}}$ (карбонатный заполнитель)	ϵ_{b1} [‰]	ϵ_{b2} [‰]
20	1.00	1.00	1.5	3.5
100	1.00	1.00	1.9	4.4
200	0.98	1.00	2.6	6.1
300	0.95	0.95	3.8	8.8
400	0.85	0.90	4.9	11.4
500	0.80	0.85	6.8	15.8
600	0.60	0.65		
700	0.20	0.30		
800	0.10	0.15		

На рис.4 приведены диаграммы деформирования арматуры при температуре 20°C и 500°C , построенные по данным СТО НИИЖБ.

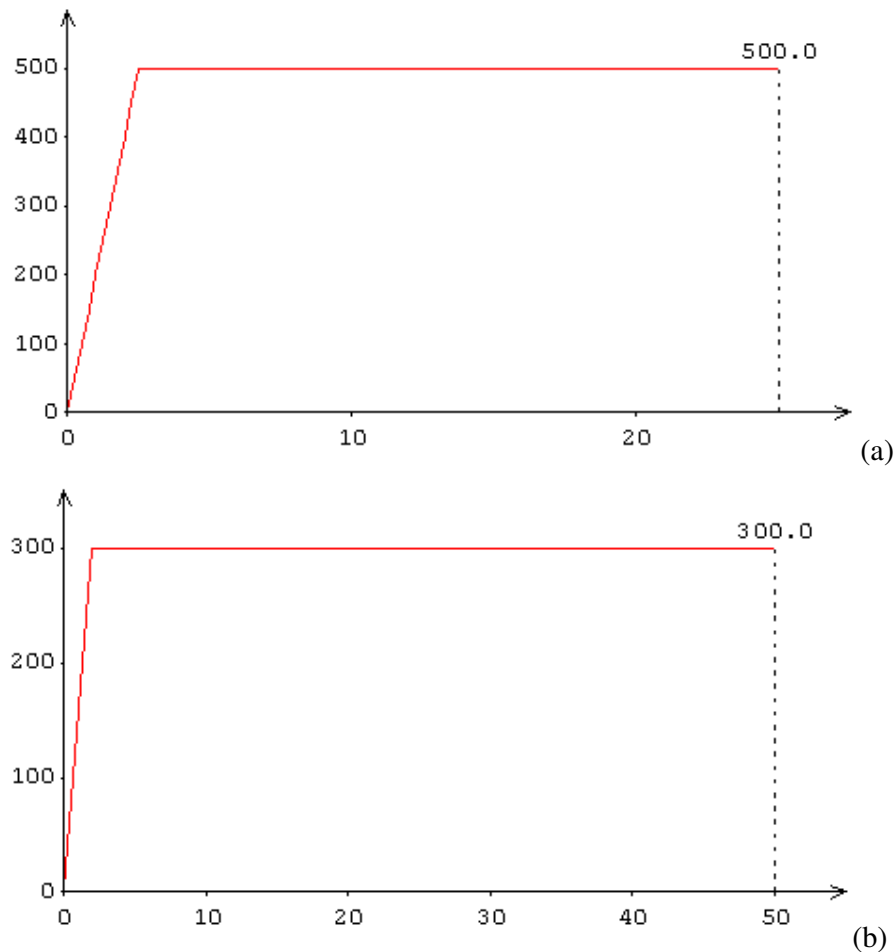


Рис.4. Диаграмма для арматуры согласно СТО НИИЖБ при 20°C (a) и 500°C (b)

По оси ординат откладывается напряжение σ [МПа], по оси абсцисс – деформация ϵ [%] ($1\text{‰}=0.1\%=0.001$). Диаграммы деформирования арматуры согласно СТО НИИЖБ характеризуются нормативным значением сопротивления арматуры при повышенной температуре R_{st} , значением модуля упругости E_{st} и значением предельной деформации ϵ_{s2} .

В табл.2 приведены данные для построения диаграмм деформирования арматуры по СТО НИИЖБ для классов А240, А300, А400, А500. Через R_{st} обозначается нормативное сопротивление арматуры при нормальной температуре.

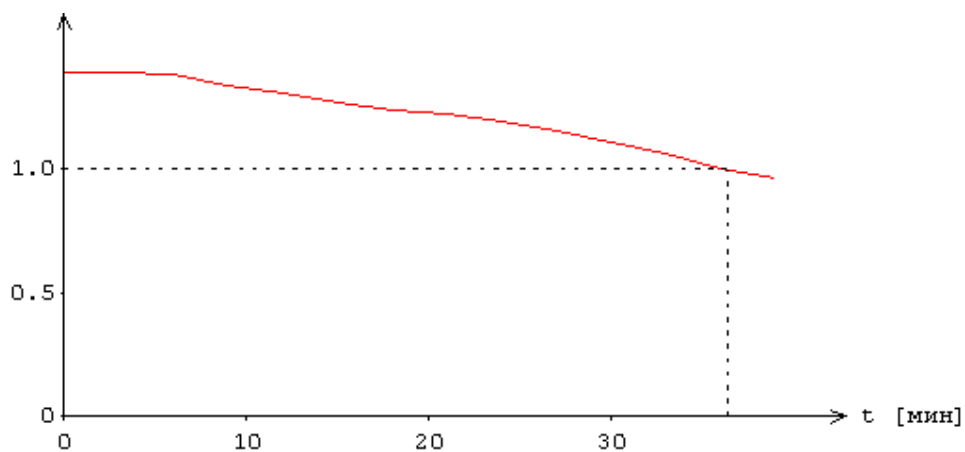
Таблица 2

T [°C]	$\frac{R_{snt}}{R_{sn}}$	$\frac{E_{st}}{E_s}$
20	1.00	1.00
200	1.00	0.92
300	1.00	0.90
400	0.85	0.85
500	0.60	0.80
600	0.37	0.77
700	0.22	0.72
800	0.10	0.65

Предельная деформация арматуры ε_{s2} принимается равной 25‰ при $20^\circ\text{C} \leq T \leq 200^\circ\text{C}$ и равной 50‰ при $T \geq 500^\circ\text{C}$. При $200^\circ\text{C} < T < 500^\circ\text{C}$ предельная деформация ε_{s2} определяется интерполяцией.

Предельные усилия принимаются пропорциональными расчетным усилиям: $N_u = \gamma_u N$, $M_{yu} = \gamma_u M_y$, $M_{zu} = \gamma_u M_z$. Прочность сечения обеспечена, если коэффициент γ_u не меньше единицы.

На рис.5 приведен пример зависимости коэффициента γ_u от времени при стандартном пожаре.

Рис.5. Пример зависимости коэффициента γ_u от времени

Литература

1. СТО 36554501-006-2006: Правила по обеспечению огнестойкости и огнесохранности железобетонных конструкций / ФГУП «НИЦ «Строительство». – М.: ФГУП ЦПП, 2006.
2. DIN EN 1992-1-2: Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-2: Allgemeine Regeln – Tragwerksbemessung fuer den Brandfall. Oktober 2006.
3. СП 52-101-2003. Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры / ГУП «НИИЖБ», ФГУП ЦПП. – М., 2004.