

РАСЧЕТ ПРЕДЕЛОВ ОГНЕСТОЙКОСТИ ИЗГИБАЕМЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ ВЫСОКОПРОЧНОГО БЕТОНА В БЕЗРАЗМЕРНЫХ ВЕЛИЧИНАХ

Канд. техн. наук КАСПЕРОВ Г. И., соиск. ПОЛЕВОДА И. И.

Командно-инженерный институт МЧС Республики Беларусь,
Белорусский национальный технический университет

Несущие строительные конструкции в соответствии с положениями СНБ 2.02.01, ГОСТ 30247.0 и ГОСТ 30403 классифицируются по пределам огнестойкости (ПО) и классам пожарной опасности. Класс пожарной опасности железобетонных конструкций принимается К0 (п. 10.6 ГОСТ 30403). Предел огнестойкости железобетонных конструкций должен быть не менее нормируемого по СНБ 2.02.01. В соответствии с действующей нормативной базой железобетонные плиты и панели перекрытия и покрытия подлежат обязательной сертификации с проведением натурных огневых испытаний по методике ГОСТ 30247.1. Определение пределов огнестойкости железобетонных балок и ригелей рекомендуется производить расчетными методами. Расчет, как правило, производится для серий, в которых допускается применение бетона и арматуры разных классов. Порядок выбора класса арматуры и бетона и соответствующей им нагрузки при расчете огнестойкости нормативно не определен. Настоящая методика позволяет проводить расчеты пределов огнестойкости при неизвестных значениях прочности бетона и арматуры.

Расчет предела огнестойкости строительных конструкций по предельному состоянию R (потеря несущей способности) состоит из двух последовательных частей: теплотехнической и статической. Теплотехническая часть проводится с целью определения распределения температур по сечению конструкции при пожаре; статическая часть – с целью оценки устойчивости конструкции с учетом изменения физико-механических свойств материалов при пожаре. Для теплотехнической части расчета, как правило, следует использовать Рекомендации по

расчету пределов огнестойкости бетонных и железобетонных конструкций [1...3, 5]. Анализ поведения железобетонных конструкций при кратковременном нагреве в условиях, имитирующих реальный пожар, показал, что их разрушение происходит по тем же схемам, что и при статических испытаниях в условиях нормальных температур [4]. Поэтому за основу для статической части расчетов взяты уравнения равновесия и деформаций, заложенные в СНБ 5.03.01. Расчету подвергается отдельно взятый конструктивный элемент без учета его связи с другими конструкциями [5, 6]. Сущность методики заключается в вычислении остаточного уровня предельного усилия $\eta_f(\Theta)$, которое способна воспринимать конструкция с учетом изменения механических свойств бетона и арматуры при нагреве (рис.1) с определением времени τ , при котором выполняется условие безопасности

$$\eta_f \leq \eta_f(\Theta). \quad (1)$$

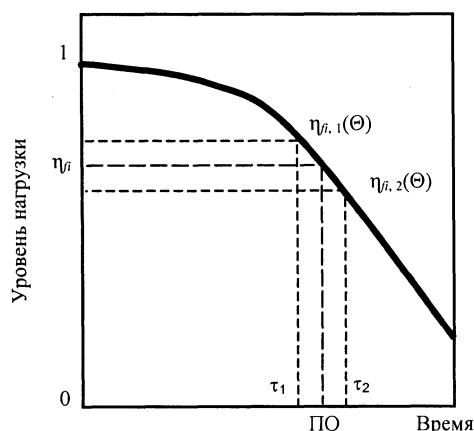


Рис. 1. Определение предела огнестойкости конструкции

Для определения значения предела огнестойкости выбираются ближайшие моменты времени, соответствующие длительности стандартного огневого воздействия, τ_1 и τ_2 ($\tau_1 < \tau_2$) из ряда 0,25; 0,5; 0,75; 1,0; 1,25; 1,5; 1,75; 2,0 ч, в интервале которых находится ожидаемое значение предела огнестойкости, определяемое по Пособию П1-02 к СНБ 2.02.01. Если расчет несущей способности конструкции для моментов времени τ_1 и τ_2 подтверждает, что между ними достигается предельное состояние по (1), то значение предела огнестойкости принимается равным τ_1 .

Нагрузка, приложенная к испытуемому на огнестойкость образцу, существенно влияет на его огнестойкость и имеет важное значение для применения полученных данных. Уровень нагрузки при пожаре η_{fi} при доминирующей переменной нагрузке (вариант 1) (рис. 2) определяется по формуле

$$\eta_{fi} = \frac{1 + \psi_1 L}{\gamma_G + \gamma_Q L}, \quad (2)$$

при остальных комбинациях нагрузки (вариант 2) – по формуле

$$\eta_{fi} = \frac{1 + \psi_2 L}{\gamma_G + \gamma_Q \psi_0 L}, \quad (3)$$

где γ_G – частный коэффициент безопасности для постоянных нагрузок; γ_Q – то же для переменных нагрузок; ψ_0 – коэффициент редкого сочетания переменных нагрузок; ψ_1 – коэффициент частого сочетания переменных нагрузок; ψ_2 – коэффициент практически постоянного сочетания переменных нагрузок; $L = \Sigma Q_k / \Sigma G_k$ – отношение переменной нагрузки к постоянной.

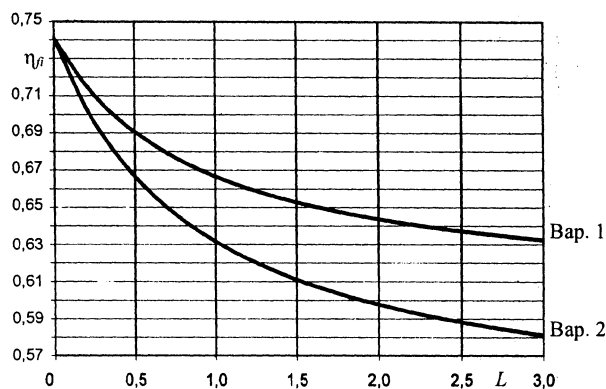


Рис. 2. Зависимость коэффициента η_{fi} от отношения L

Для упрощенных расчетов коэффициенты сочетания переменных нагрузок принимаются максимальными по нормам: $\psi_0 = 1$; $\psi_1 = 0,9$; $\psi_2 = 0,8$. Величина γ_G устанавливается равной 1,35, величина $\gamma_Q = 1,5$. Полученный с учетом принятых допущений график приведен на рис. 2. В упрощенных расчетах уровень нагрузки для расчетов огнестойкости допускается принимать равным 0,74.

Статически определяемые изгибаемые строительные конструкции условно делятся по способу опирания на конструкции с двусторонним опиранием (далее – изгибаемые) и консольные. Изменение эффективной ширины и высоты сечения железобетонной конструкции при пожаре можно определить «зонным» методом или методом «изотермы 500 °С». Сущность последнего заключается в том, что слой бетона, прогретые до температуры более 500 °С (рис. 3), в расчетах не учитываются [1, 3, 5, 6]. Определить толщину слоя бетона l_{cr} , прогретого выше критической температуры, можно, используя «Рекомендации по расчету пределов огнестойкости бетонных и железобетонных конструкций». Сущность «зонного» метода заключается в делении сечения подвергнутой высокотемпературному нагреву конструкции на равные по ширине z параллельные элементарные зоны, в пределах которых бетон равномерно нагрет до одной температуры и обладает соответственно одинаковыми физико-механическими свойствами (рис. 4).

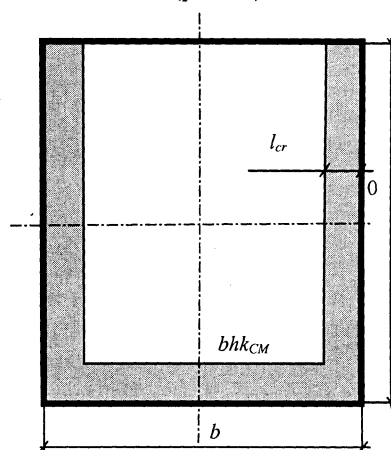


Рис. 3. Область сечения бетонной конструкции, учитываемая в расчете при пожаре

Наиболее полно преимущества «зонного» метода реализуются с использованием приве-

денного коэффициента работы бетона конструкции при пожаре k_{CM} , который показывает долю сечения бетона, способную выполнять свои сжимающие функции при нагреве, и позволяет более объективно определить характеристики конструкции с учетом влияния состава бетонной смеси.

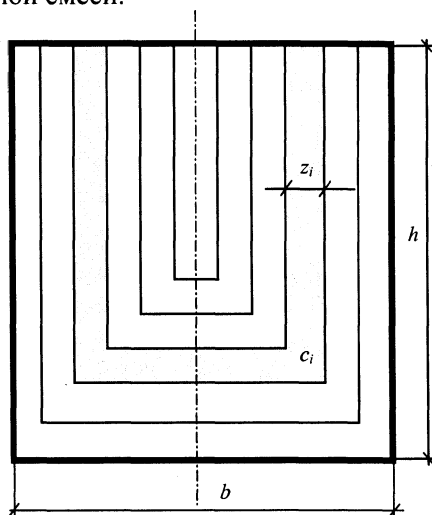


Рис. 4. Сущность «зонного» метода для изгибаемых конструкций

Коэффициент k_{CM} с учетом вариации температуры в каждой зоне определяется по формуле

$$k_{CM} = \left(1 - \frac{0,2}{m}\right) \sum_{i=1}^m c_i k_C(\Theta_i), \quad (4)$$

где m – количество зон; $k_C(\Theta)$ – коэффициент работы бетона i -й зоны при пожаре; $c_i = A_{ci}/A_c$ – доля площади от общей площади сечения бетона;

$$c_i = \frac{z(2h + b - z[4i - 2])}{bh}, \quad (5)$$

z – ширина зоны, принимается наиболее близкой диаметру арматуры в интервале 0,01...0,03 м; b, h – длина и ширина поперечного сечения, м; i – номер рассматриваемой зоны.

Коэффициент работы бетона при пожаре $k_C(\Theta)$ в интервале 20...400 °С рассчитывается по формуле

$$k_C(\Theta) = 1 - 0,00263(\Theta - 20)(1 - 0,88\alpha_k), \quad (6)$$

в интервале 400...800 °С – по выражению

$$k_C(\Theta) = 0,88\alpha_k - \xi(\Theta - 400), \quad (7)$$

где α_k – уточняющий коэффициент, учитывающий дефектность структуры бетона при темпе-

ратуре 400 °С; $\xi = \operatorname{tg} \varphi$ – коэффициент интенсивности деструктивных процессов, равный тангенсу угла наклона прямой $k_C(\Theta)$ к оси Θ .

Для бетонов без добавок классов до С⁵⁵/67 допускается принимать коэффициенты $\alpha_k = 1$; $\xi = 0,00187$. Коэффициент эффективной ширины сечения k_{CX} при пожаре определяется по формуле

$$k_{CX} = \frac{1}{b} \left(b - 0,5 \left[2h + b - \sqrt{(b + 2h)^2 - 8bh(1 - k_{CM})} \right] \right). \quad (8)$$

Эффективная ширина сечения рассчитывается по выражению

$$b(\Theta) = bk_{CX}. \quad (9)$$

Определение приведенного коэффициента работы сжатой k_{SM2} и растянутой k_{SM1} арматур конструкции при пожаре производится по формуле

$$k_{SM} = \frac{\sum A_{si} k_S(\Theta_i)}{\sum A_{si}}. \quad (10)$$

Коэффициент условий работы арматуры при пожаре $k_S(\Theta)$ определяется по табл. 1.

Таблица 1

Класс арматуры	Температура нагрева, °С						
	100...200	300	400	500	600	700	800
S240, S400, S500	1,00	1,00	1,00	0,85	0,50	0,25	0,15
S800, S1200, S1400	1,00	1,00	0,95	0,65	0,35	0,18	0,10
Проволока и подвергнутая термическому упрочнению арматура	1,00	0,90	0,70	0,45	0,20	0,10	0,05

Расчетная схема для изгибаемых конструкций приведена на рис. 5, а для консольных строительных конструкций при пожаре – на рис. 6. Значение коэффициента $\xi_A = A_{cc}(\Theta)/A_{cc}$, показывающего изменение площади сжатой зоны бетона при пожаре, находится следующим образом:

$$\xi_A = 0,57 \{ 1,1k_{SM1} + \omega(1,1k_{SM1} - 0,69k_{SM2}\omega) \}, \quad (11)$$

где ω – доля нагрузки, воспринимаемая сжатой арматурой.

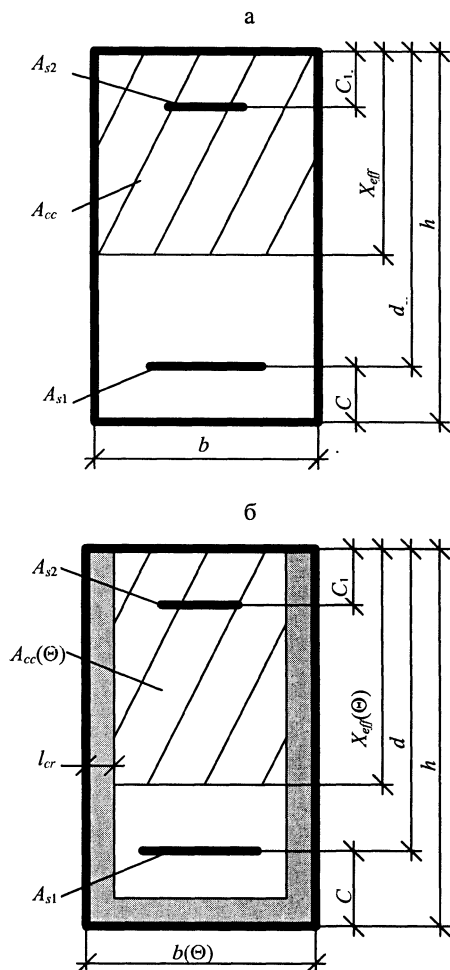


Рис. 5. Расчетная схема для изгибаемой конструкции:
а – при нормальных условиях; б – при пожаре

Доля нагрузки, воспринимаемая сжатой арматурой при условии, что применяется вся арматура одного класса, определяется по формуле

$$\omega = \frac{L_A}{1 - L_A}, \quad (12)$$

где $L_A = A_{s2}/A_{s1}$ – отношение площадей сжатой и растянутой арматур.

Высота сжатой зоны бетона при пожаре

$$X_{eff}(\Theta) = \frac{X_{eff} \xi_A}{k_{CX}}. \quad (13)$$

Значение предельной доли несущей способности, воспринимаемой сечением конструкции при пожаре:

$$\eta_{fi}(\Theta) = \frac{[1,1k_{SM1} + \omega(1,1k_{SM1} - 0,69k_{SM2})]}{d_X + \omega d_C} \dots \rightarrow \dots \frac{(d_X - \Delta) + 0,69\omega k_{SM2}d_C}{d_X + \omega d_C}, \quad (14)$$

где $d_X = d - 0,5X_{eff}$ – расстояние между осью растянутой арматуры и центром сжатой зоны бетона, м; $d_C = d - c_1$ – расстояние между осями сжатой и растянутой арматур, м; Δ – смещение центра тяжести сжатой зоны бетона при пожаре, м.

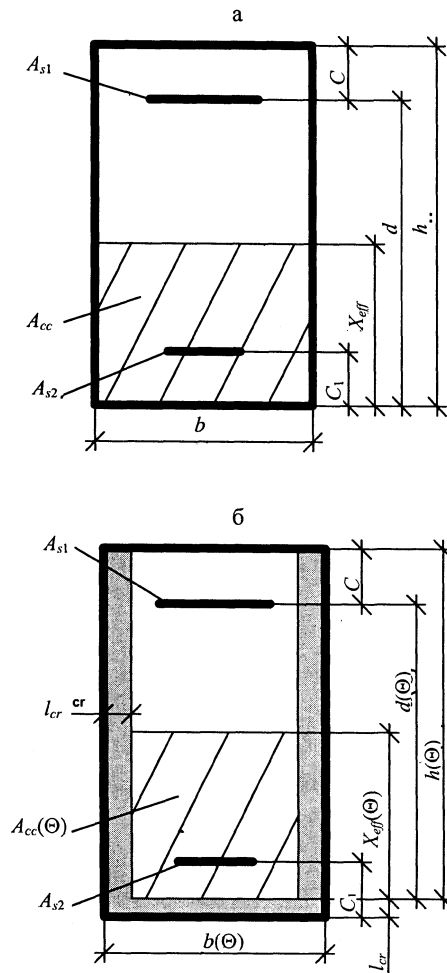


Рис. 6. Расчетная схема для консольной конструкции:
а – при нормальных условиях; б – при пожаре

Значение величины Δ можно определить: для изгибаемых конструкций

$$\Delta = \frac{X_{eff}}{2} \left(1 - \frac{[1,1k_{SM1} + \omega(1,1k_{SM1} - 0,69k_{SM2})]}{k_{CX}} \right); \quad (15)$$

для консольных

$$\Delta = \frac{X_{eff}}{2} \left(1 - \frac{[1,1k_{SM1} + \omega(1,1k_{SM1} - 0,69k_{SM2})]}{k_{CX}} \right) + \frac{b}{2}(1 - k_{CX}). \quad (16)$$

Сравнительная оценка соответствия действующих методик разработанной проводилась на балках и ригелях, выпускаемых ОАО «Завод сборного железобетона № 1». Средняя арифметическая погрешность результатов расчетов по обоим методам составила 3,84 %. При этом для всех вариантов расчета существующая разница не повлияла на значение предела огнестойкости. Проведенные огневые испытания железобетонных балок по методике ГОСТ 30247.1 на полигоне НИИ ПБ и ЧС показали, что указанный метод позволяет получить приемлемый результат с погрешностью, не превышающей 16 %. Полученные расчетные результаты для всех испытанных балок были ниже экспериментальных данных.

ВЫВОД

Разработанная методика позволяет повысить объективность расчетов пределов огнестойкости изгибаемых железобетонных конст-

рукций и рекомендуется для обоснования экспертных оценок в области пожарной безопасности органами Государственного пожарного надзора.

ЛИТЕРАТУРА

1. МДС 21.2–2000. Методические рекомендации по расчету огнестойкости и огнесохранности железобетонных конструкций / ГУП «НИИЖБ». – М.: Стройиздат, 2000. – 92 с.
2. Ройтман В. М. Инженерные решения по оценке огнестойкости проектируемых и реконструируемых зданий. – М.: Пожарная безопасность и наука, 2001. – 382 с.
3. Яковлев А. И. Расчет огнестойкости строительных конструкций. – М.: Стройиздат, 1988. – 143 с.
4. Милованов А. Ф. Стойкость железобетонных конструкций при пожаре. – М.: Стройиздат, 1998. – 304 с.
5. Рекомендации по расчету пределов огнестойкости бетонных и железобетонных конструкций / НИИЖБ. – М.: Стройиздат, 1986. – 40 с.
6. Инструкция по расчету фактических пределов огнестойкости железобетонных строительных конструкций на основе применения ЭВМ. – М.: ВНИИПО, 1975. – 218 с.

УДК 004.021:004.942

РЕАЛИЗАЦИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПРОФИЛЕЙ В ПЕРИОДИЧЕСКОМ РЕАКТОРЕ ПЕРЕЭТЕРИФИКАЦИИ

Канд. техн. наук, доц. ДОРОГОВ Н. Н.

Могилевский государственный университет продовольствия

Реактор переетерификации является первым в двухреакторной группе получения полимера периодическим способом. Он представляет собой цилиндрический аппарат, обогреваемый подачей пара в рубашку. В силу больших затрат тепловой энергии на проведение процесса предварительно были рассчитаны оптимальные программы, минимизирующие среднюю температуру нагрева жидкой реагирующей массы.

Из-за значительного рабочего объема реактор как объект управления обладает существенной инерцией и запаздыванием (единицы минут). В связи с непрерывным удалением метанола объем реакционной массы уменьшается

на 30...35 %, поэтому необходимо учитывать изменение характеристик реактора: коэффициента передачи, постоянной времени, запаздывания. На объект воздействуют возмущения, связанные с изменениями как давления обогревающего пара, так и количества удаляемого метанола, уносящего с собой часть массы и теплоты. Последнее приводит к уменьшению рабочего объема и температуры реакционной массы. Эти возмущения система управления должна компенсировать в связи с жесткими требованиями к точности поддержания оптимальных температурных профилей [1].

Возмущения по пару действуют в рубашке реактора, которую можно считать малоинерци-