

ОЦЕНКА ТОЛЩИНЫ ОГНЕЗАЩИТНОГО ПОКРЫТИЯ ДЛЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТ ПЕРЕКРЫТИЯ

При возведении высотных железобетонных зданий одним из путей повышения их прочности является максимальное облегчение конструктивных элементов. Большое количество изгибаемых строительных конструкций позволяет даже при небольшой экономии материала на каждой из них получить значительный выигрыш в весе для всего здания. Например, объектом изучения можно выбрать железобетонные плиты перекрытия. Уменьшить их вес без снижения прочности возможно только за счет уменьшения толщины защитного слоя бетона.

В то же время для высотных зданий как объектов повышенной пожарной опасности необходимо обеспечить I степень огнестойкости. При уменьшении толщины защитного слоя бетона изгибаемого элемента сохранить необходимый предел огнестойкости можно за счет специальных огнезащитных покрытий, имеющих существенно меньшую плотность, чем бетон. Таковыми могут служить керамзитобетонная штукатурка ($1000 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-3}$), покрытия ОФП-ММ ($300 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-3}$), Сотерм-М1 ($370 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-3}$), и др. [1]. При использовании для железобетонных плит перекрытия бетона класса В-20 на известковом заполнителе уменьшение толщины защитного слоя бетона на 1 см дает удельный выигрыш в весе от 10 до 20 $\text{кг}\cdot\text{м}^{-2}$.

Ранее, при строительстве зданий многоэтажных и повышенной этажности проблема уменьшения веса конструктивных элементов не стояла с такой остротой, и поэтому она практически не рассматривалась.

Согласно ДБН В.1.1-7-2002 в зданиях I степени огнестойкости необходимо обеспечить предел огнестойкости железобетонных плит перекрытия не менее 60 мин. Однако, мировой опыт показывает, что в высотных зданиях желательно повысить это значение в 2-4 раза [2]. Уменьшение толщины защитного слоя бетона плиты перекрытия значительно уменьшит ее предел огнестойкости. Поэтому необходимо оценить толщину огнезащитного покрытия, способного обеспечить требуемый предел огнестойкости железобетонных плит перекрытия при уменьшении в них толщины защитного слоя бетона.

Воспользовавшись уравнением теплопроводности Фурье для описания одномерного температурного поля

$$\frac{\partial a}{\partial \tau} = \frac{\lambda}{\rho C} \nabla^2 t, \quad (1)$$

и выполнив отдельно преобразования получим [2]:

для слоя огнезащитного покрытия:

$$\text{erf} \frac{\sqrt{a_p} + p}{2\sqrt{a_p \tau_p}} = \text{erf} X_p = \frac{t_l - t_{pb}}{t_l - t_0} \quad (2)$$

и для бетона:

$$\text{erf} \frac{k\sqrt{a_b} + \delta}{2\sqrt{a_b \tau_b}} = \text{erf} X_b = \frac{t_{pb} - t_{crS}}{t_{pb} - t_0}. \quad (3)$$

где λ – коэффициент теплопроводности; ρ – плотность; C – коэффициент теплоемкости; ∇^2 – оператор Лапласа; k – коэффициент плотности бетона; a_b, a_p – коэффициенты температуропроводности; p – толщина покрытия; δ – толщина защитного слоя бетона; t_l – температура стандартного пожара; t_0 – начальная температура; t_{pb} – температура на границе раздела покрытия и бетона; t_{crS} – критическая температура арматуры.

Точное решение задачи аналитически осложняется тем, что для описания теплообмена двухслойной системы "покрытие-бетон" трудно заменить граничные условия III и IV рода граничными условиями I рода. Количество неизвестных превышает количество уравнений, поэтому решение задачи предложено в приближенном виде.

Если принять, что для бетона класса В-20 на известковом заполнителе при минимальной влажности его плотность $\rho_b = 2250 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-3}$, коэффициент плотности бетона $k = 0,615 \text{ ч}^{-0,5}$, коэффициент теплопроводности $\lambda_b = 0,7685 \text{ ккал}\cdot(\text{м}\cdot\text{ч}\cdot\text{гр})^{-1}$, коэффициент теплоемкости $C_b = 0,26 \text{ ккал}\cdot(\text{кг}\cdot\text{гр})^{-1}$, то его коэффициент температуропроводности

$$a_b = \frac{\lambda_{t,m}}{C_b \rho_b} = \frac{0,7685}{0,26 \cdot 2250} = 0,00131 \text{ м}^2/\text{ч}. \quad (3)$$

Прочность железобетонных плит перекрытия определяется прочностью стальной арматуры. При значении критической температуры стальной арматуры $500 \text{ }^\circ\text{C}$ предел огнестойкости железобетонной плиты перекрытия составит

$$\tau_b = \left(\frac{k \cdot \sqrt{a_b} + \delta_b}{2 \cdot X_b \cdot \sqrt{a_b}} \right)^2 = \left(\frac{0,615 \cdot \sqrt{0,00131} + 0,01}{2 \cdot 0,607 \cdot \sqrt{0,00131}} \right)^2 = 0,5 \text{ ч}, \quad (4)$$

где δ_b – толщина защитного слоя бетона, м; X_b – аргумент функции ошибок Гаусса.

Критическая температура арматуры зависит от марки стали и величины рабочих нагрузок на изгибаемый конструктивный элемент и обычно изменяется в пределах $400 \dots 700 \text{ }^\circ\text{C}$. При этом предел огнестойкости изменяется от 0,4 до 0,75 ч. Т.е. проверка показала, что, предел огнестойкости железобетонных плит перекрытия при уменьшении защитного слоя до 1 см меньше требуемого и его следует повысить.

Пределы огнестойкости, которые способны обеспечить огнезащитные покрытия, рассчитаны по (2) и приведены в табл. 1. Они превышают нормативные значения, но меньше желаемого (120 мин). Однако, толщина защитного слоя бетона плиты также дает существенный вклад в суммарный предел огнестойкости. Время прогрева защитного слоя бетона до критической температуры в зависимости от температуры, достигнутой на границе раздела покрытия и бетона, рассчитанное по (3), показано в табл. 2.

Таблица 1 – Характеристики огнезащитных покрытий

№	Характеристики	Сотерм-М1	ОФП-ММ	Керамзитобетонная штукатурка
1	Плотность, ρ_p , кг·м ⁻³	370	300	1000
2	Коэффициент теплопроводности, λ_p , ккал·(м·ч·гр) ⁻¹	0,095	0,086	0,243
3	Коэффициент теплоемкости, C_p , ккал·(кг·гр) ⁻¹	0,26	0,33	0,24
4	Коэффициент температуропроводности, a_p , м ² ·ч ⁻¹	0,00099	0,00087	0,001
5	Предел огнестойкости при $p = 1$ см, τ_{p1} , ч	1,17	1,21	1,17
6	Предел огнестойкости при $p = 2$ см, τ_{p2} , ч	1,81	1,91	1,8

Таблица 2 – Время прогрева защитного слоя бетона до критической температуры

Температура на границе раздела покрытия и бетона, t_{pb} , °С	Функция ошибок Гаусса, $erf X_b$	Время прогрева защитного слоя до критической температуры, τ_b , ч
700	0,294	2,79
800	0,356	1,56
900	0,454	1,04
1000	0,51	0,91

Таким образом, показано, что применение в высотных зданиях железобетонных плит перекрытия с уменьшенным защитным слоем бетона до 1 см и покрытием огнезащитным материалом 2 см с одной стороны позволяет снизить вес конструкций, а с другой – повышает предел огнестойкости до 180 минут и более. К сказанному следует добавить, что приведенные данные являются приближенными и нуждаются в экспериментальной проверке.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Огнезащита строительных конструкций / В.Л.Страхов, А.М.Крутов, Н.Ф.Давыдкин; под ред. Ю.А. Кошмарова. – М.: Информационно-издательский центр «ТИМР», 2000. – 433 с.
2. Шевчук, И.А. Пожарная безопасность высотных комплексов / И.А.Шевчук, С.Н.Никонов // Высотные здания. – 2007. – № 1. – С. 104-107.
3. Яковлев, А.И. Расчет огнестойкости строительных конструкций / А.И.Яковлев. – М.: Стройиздат, 1988. – 143 с.