

*А.В. Васильченко, к.т.н., доцент, НУГЗУ,  
И.М. Хмыров, к.психол.н., ст. преподаватель, НУГЗУ*

## **ОЦЕНКА ОГНЕСТОЙКОСТИ БЕЗАРМАТУРНОЙ ПЛИТЫ ИЗ ФИБРОБЕТОНА**

(представлено д-ром техн. наук Андроновым В.А.)

На основании оценочных расчетов показано, что безарматурные плиты из фибробетона со стальной и базальтовой фиброй способны выдерживать рабочую нагрузку, обеспечивая достаточную надежность при воздействии высокой температуры.

**Ключевые слова:** фибробетон, стальная фибра, базальтовая фибра, полипропиленовая фибра, предел огнестойкости.

**Постановка проблемы.** Использование фибробетонов позволяет коренным образом улучшить качество железобетонных конструкций при одновременном снижении затрат материалов, труда и снижении энергоемкости [1]. Этому способствуют очевидные преимущества фибробетонов (многократное увеличение прочности, трещиностойкости, износостойкости и т.д.). Используя в качестве микрофибры стекловолокно, стальные, базальтовые или полимерные волокна, удается достигать прочности фибробетона при изгибе до 30...35 МПа, а при сжатии – до 80...100 МПа.

При таких характеристиках фибробетонов возникает искушение использовать этот материал в некоторых изгибаемых изделиях (например, в плитах наката) без обязательной стальной арматуры [2]. В нормальных условиях при незначительном нагружении, характерном для элементов ограждающих конструкций, такие изделия вполне работоспособны. Проблема заключается в надежности таких элементов, особенно при пожаре.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Имеющийся опыт применения фибробетонов говорит о том, что их характеристики зависят от вида используемой фибры. Так, стальная и базальтовая фибры обуславливают в изделии повышенную прочность и модуль упругости, полипропиленовая фибра придает повышенную трещиностойкость и деформативность [1-3].

По литературным данным в настоящее время в строительстве применяются фибробетоны со стальной, базальтовой и полипропиленовой фиброй, прочностные характеристики которых незначительно отличаются друг от друга. Их прочности на сжатие находятся в пределах  $R_{fc} = 45...70$  МПа, а на растяжение при изгибе –  $R_{ft} = 5...20$  МПа [3].

Известны также методы расчета изделий из фиброжелезобето-

на [3-4]. Однако, методы расчета изделий из фибробетона без арматуры как при нормальных условиях, так и при пожаре остаются недостаточно исследованными.

**Постановка задачи и ее решение.** Задачей данной работы является оценка несущей способности безарматурного изгибаемого элемента из фибробетона на основе анализа напряжений в сжатой и растянутой зонах. Далее, используя эту оценку как результат статической задачи, можно найти решение теплотехнической задачи огнестойкости.

Особенностью расчета безарматурного изгибаемого элемента из фибробетона является необходимость учитывать большое различие в этом материале предела прочности на сжатие и предела прочности на растяжение. Напряженно-деформированное состояние при изгибе (и, соответственно, несущая способность) будет определяться их соотношением.

Предел огнестойкости такого элемента будет зависеть от времени прогрева до критической температуры слоя фибробетона со стороны растянутой зоны. При этом надо учитывать уменьшение эффективного сечения элемента при прогреве.

В данной работе оценка огнестойкости изгибаемых элементов на основе фибробетонов разного состава производилась по их расчетным пределам огнестойкости.

Для примера выбран расчет сплошной безарматурной плиты прямоугольного сечения с размерами:  $l_0 = 1600$  мм,  $b = 1190$  мм,  $h = 200$  мм. Принимается, что плита, свободно опирающаяся на две противоположные стороны, равномерно нагружена. При расчетной удельной нагрузке  $Q = 1,92$  кН·м<sup>-2</sup> создается изгибающий момент  $M = 2,57$  кН·м. Материалом плиты служит фибробетон с дисперсным армированием различными фибрами, обеспечивающий характеристики: для стальной фибры  $R_{fsc} = 60$  МПа,  $R_{fst} = 10$  МПа,  $\rho_s = 2300$  кг·м<sup>-3</sup>; для базальтовой фибры  $R_{fbc} = 60$  МПа,  $R_{fbt} = 15$  МПа,  $\rho_b = 2400$  кг·м<sup>-3</sup>; для полипропиленовой фибры  $R_{fpc} = 60$  МПа,  $R_{fpt} = 5$  МПа,  $\rho_p = 2450$  кг·м<sup>-3</sup> (здесь  $R$  – расчетное сопротивление;  $\rho$  – плотность; индексы означают:  $c$  – сжатие,  $t$  – растяжение,  $f$  – фибробетон,  $s$  – сталь,  $b$  – базальт,  $p$  – полипропилен).

Для выбранного изгибаемого элемента несущая способность относительно центра тяжести сечения сжатой зоны бетона рассчитывалась по формуле

$$M = \sigma_{fc} b 0,5x^2 + \sigma_{ft} b 0,5(h-x)^2, \quad (1)$$

где  $\sigma_{fc}$ ,  $\sigma_{ft}$  – напряжение в сжатой и растянутой зонах;  $b$ ,  $h$  – ширина и толщина плиты;  $x$  – расчетная высота сжатой зоны.

Условием равновесия для расчетов в элементе с дисперсным армированием принято соотношение

$$\sigma_{ft} b(h-x) - R_{fc} b x = 0. \quad (2)$$

Расчетная высота сжатой зоны бетона вычислялась как

$$x = \xi \cdot h_0, \quad (3)$$

где  $\xi$  – относительная высота сжатой зоны бетона,

$$\xi = \frac{k}{\frac{R_{ft}}{R_{fc}} + 1}. \quad (4)$$

На основании условия равновесия (2), принято условие прочности плиты

$$\sigma_{ft} = \frac{M}{W c_1} = \frac{6M}{b(h-x)^2 c_1} \leq R_{ft}, \quad (5)$$

из которого определялась критическая толщина растянутой зоны, обеспечивающей несущую способность плиты (здесь  $W$  – момент сопротивления сечения,  $c_1$  – коэффициент запаса жесткости).

Предел огнестойкости плиты при нагреве снизу рассчитывался по методике [5], исходя из критической толщины прогрева фибробетона, обеспечивающей несущую способность плиты, когда слой материала, прогретый до критической температуры, выключается из работы

$$\operatorname{erf} \frac{k \sqrt{a_{fb}} + \delta}{2 \sqrt{a_{fb} \tau}} = \operatorname{erf} X_b = \frac{t_l - t_{crf}}{t_l - t_0}, \quad (6)$$

где  $k$  – коэффициент плотности фибробетона;  $a_{fb}$  – коэффициент температуропроводности;  $\delta$  – критическая толщина прогрева фибробетона;  $t_l$  – температура стандартного пожара,  $t_l = 1250$  °С;  $t_0$  – начальная температура,  $t_0 = 20$  °С;  $t_{crf}$  – критическая температура фибробетона (принимается: для полипропиленовой фибры  $t_{crfp} = 150$  °С, для стальной фибры  $t_{crfs} = 450$  °С, для базальтовой фибры  $t_{crfb} = 600$  °С),  $\tau$  – время достижения критической толщины прогрева.

Результаты оценочных расчетов изгибаемых элементов из фибробетона при данных условиях показаны в табл. 1.

**Табл. 1. Результаты оценочных расчетов характеристик безарматурной плиты**

	Фибробетон на основе полипропиленовой фибры	Фибробетон на основе стальной фибры	Фибробетон на основе базальтовой фибры
Расчетная толщина растянутой зоны без прогрева, мм	15	29	40
Критическая толщина растянутой зоны, мм	25	18	15
Критическая толщина прогрева фибробетона, мм	–	75	120
Время достижения критической толщины прогрева, мин	–	153	562

Из таблицы видно, что фибробетон с полипропиленовой фиброй даже при нормальных условиях не обеспечивает несущей способности безарматурной плиты.

Безарматурная плита из фибробетона со стальной или базальтовой фиброй способна выдерживать рабочую нагрузку и показывает достаточную надежность при воздействии высокой температуры.

Как и следовало ожидать, бетон с базальтовой фиброй благодаря более высокой критической температуре материала наименее чувствителен к нагреву.

**Выводы.** Таким образом, расчеты показали, что безарматурные плиты из фибробетона со стальной и базальтовой фиброй способны выдерживать рабочую нагрузку, обеспечивая достаточную надежность при воздействии высокой температуры.

Фибробетон с полипропиленовой фиброй в связи с недостаточным пределом прочности на растяжение и малым значением критической температуры нельзя рекомендовать для использования в данном изделии.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Волков И.В. Фибробетон: состояние и перспективы применения / И.В. Волков // ПГС. – № 9. – 2002.
2. Пухаренко Ю.В. Эффективные фиброармированные материалы и изделия для строительства/ Ю.В. Пухаренко // Промышленное и гражданское строительство. – № 10. – 2007.
3. Мещерин В.Н. Предупреждение трещинообразования в бетоне с помощью фиброармирования / В.Н. Мещерин // Бетон и железобетон. – № 1 (6). – 2012. – С. 50-57.

4. Васильченко А.В. Оценка предела огнестойкости изгибаемых железобетонных элементов, усиленных фиброматериалами / А.В. Васильченко, Н.Б. Золочевский, И.М. Хмыров // Сб. науч. трудов НУГЗ Украины «Проблемы пожарной безопасности». – Вып. 33.– Харьков: НУГЗУ, 2013. – С. 27-32.

5. Яковлев А.И. Расчет огнестойкости строительных конструкций / А.И. Яковлев. – М.: Стройиздат, 1988. – 143 с.

О.В. Васильченко, І.М. Хмиров

**Оцінка вогнестійкості безарматурної плити з фібробетону**

На підставі оціночних розрахунків показано, що безарматурні плити з фібробетону зі сталевую і базальтовою фіброю здатні витримувати робоче навантаження, забезпечуючи достатню надійність при впливі високої температури.

**Ключові слова:** фібробетон, сталева фібра, базальтова фібра, поліпропіленова фібра, межа вогнестійкості.

A.V. Vasilchenko, I.M. Hmyrov

**Estimation of the fire resistance of non-reinforcing slab of fiber-concrete**

On the basis of the estimates shows that the non-nreinforced slabs of fiber-reinforced concrete with steel and basalt fibers are able to withstand the workload and show sufficient reliability when exposed to high temperature.

**Keywords:** fiber-reinforced concrete, steel fibre, basalt fibre, polypropylene fibre, fire resistance.