

*А.В. Васильченко, к.т.н., доцент, НУГЗУ,  
Н.Б. Золочевский, преподаватель, НУГЗУ,  
И.М. Хмыров, преподаватель, НУГЗУ*

## **ОЦЕНКА ПРЕДЕЛА ОГНЕСТОЙКОСТИ ИЗГИБАЕМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ, УСИЛЕННЫХ ФИБРОМАТЕРИАЛАМИ**

(представлено д-ром техн. наук Комяк В.М.)

На основании оценочных расчетов показано, что дисперсное армирование железобетонных изгибаемых элементов стальной, базальтовой и синтетической фиброй увеличивает их несущую способность, а также повышает предел огнестойкости, особенно при больших рабочих нагрузках.

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

**Постановка проблемы.** При возведении высотных зданий особое внимание уделяют снижению веса несущих строительных конструкций при сохранении ими высокой прочности.

В настоящее время осуществлены попытки повышения прочностных характеристик бетона введением в его состав дискретных волокон (фибр) различного происхождения [1]. Такой материал называют фибробетоном. В качестве микрофибры в нем используются стекловолокно, стальные, базальтовые или полимерные волокна. Прочность фибробетона может достигать при изгибе 30...35 МПа, а при сжатии – 80...100 МПа [2]. Исследования показали, что дисперсное армирование бетонов повышает их трещиностойкость, ударостойкость, способствует стойкости бетона к воздействию агрессивной среды; позволяет сократить рабочие сечения конструкций и в ряде случаев отказаться от использования стержневой арматуры или уменьшить ее расход [2].

Также для железобетонных изгибаемых элементов прямоугольного сечения применяется внешнее армирование в растянутой зоне фиброармированными пластиками (ФАП) на основе углеродных, арамидных и стеклянных волокон [3]. Однако, при всех перечисленных достоинствах изделий на основе фибробетонов недостаточно исследованной остается проблема их устойчивости при пожаре.

**Анализ последних исследований и публикаций.** В работе [4] показано, что при фиброармировании возможно "самозалечивание" трещин в растянутой зоне бетона. Это свойство обуславливает особые механические характеристики фибробетонов: увеличение предельного удлинения и энергии разрушения при сжимающей и растягивающей нагрузке; повышение прочности при растяжении и изгибе; повышение

динамической, усталостной и ударной прочности; низкую склонность к образованию трещин при быстрых изменениях температуры. В этой же работе рассмотрено влияние количества, размера и ориентации фиброволокон на механические и деформативные характеристики фибробетонов. Определение параметров строительных элементов из фибробетона осуществляется по тем же принципам, что и для железобетона. Расчёт при этом необходимо согласовывать с методом определения внутренних сил и моментов.

Имеющийся опыт испытаний железобетонных конструкций на огнестойкость свидетельствует, что при прочих равных условиях конструкции с более высокими механическими характеристиками имеют обычно и больший предел огнестойкости. В случае фиброжелезобетонов из-за сравнительно недолгой истории их применения данные об их огнестойкости отсутствуют. Можно предполагать, что материал фиброволокон, изменяя теплофизические свойства бетона, окажет влияние на характеристики его огнестойкости.

**Постановка задачи и ее решение.** В данной работе оценка огнестойкости железобетонных изгибаемых элементов на основе фибробетонов разного состава производилась по их расчетным пределам огнестойкости.

Для примера в качестве базовых выбраны изгибаемые железобетонные элементы с разным процентом армирования на основе бетона класса В25 с гранитным заполнителем. Сечение элементов прямоугольное с размерами:  $b=300$  мм,  $h=700$  мм,  $h_0=650$  мм. Расчетное сопротивление бетона  $R_b=14,5$  МПа. Для данного элемента принято одиночное армирование стальной арматурой класса А400 с расчетным сопротивлением  $R_s=355$  МПа.

Для сравнения рассматривались подобные элементы на основе такого же бетона, но с дисперсным армированием стальной, базальтовой и синтетической фиброй.

Также для сравнения рассматривались элементы, в которых применено внешнее армирование в растянутой зоне углепластиком холодного отверждения с нормативной прочностью  $R_f=1400$  МПа,  $E_f=120000$  МПа. Расчетная толщина монослоя  $t_f=0,175$  мм. Площадь сечения внешней арматуры  $A_f=b_f \cdot t_f=52,5$  мм. Расчетное сопротивление углеткани  $R_{fu}=1033$  МПа [5].

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

– для исходного элемента и элемента с дисперсным армированием:

$$M = \sigma_s A_s (h_0 - 0,5x), \quad (1)$$

– для элемента с внешним армированием

$$M = \sigma_s A_s (h_0 - 0,5x) + \sigma_f A_f (h - 0,5x), \quad (2)$$

где  $\sigma_s$ ,  $\sigma_f$  – напряжение в стальной арматуре и углеткани;  $A_s$ ,  $A_f$  – суммарная площадь сечения стальной арматуры и углеткани;  $x$  – расчетная высота сжатой зоны.

Условиями равновесия для расчетов выбраны

– в исходном элементе:  $\sigma_s A_s - R_b b x = 0$ ; (3)

– в элементах с дисперсным армированием:  $\sigma_s A_s - R_{bf} b x = 0$ ; (4)

– в элементе с внешним армированием:  $\sigma_s A_s + \sigma_f A_f - R_b b x = 0$ , (5)

где  $R$  – расчетное сопротивление; индексы  $s$ ,  $b$ ,  $bf$ ,  $f$  означают сталь, бетон, фибробетон и углепластик, соответственно.

Расчетная высота сжатой зоны бетона вычислялась как:

$$x = \xi \cdot h_0, \quad (6)$$

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

Расчеты несущей способности изгибаемых элементов проводились по методике СНиП 2.03.01-84\* [6] с учетом свойств материалов соответствующих элементов, и результаты показаны в табл. 1.

Пределы огнестойкости исследуемых железобетонных элементов  $\tau$  оценивались с учетом их несущей способности по методике [7] из формулы

$$\operatorname{erf} \frac{k \sqrt{a_b + \delta}}{2 \sqrt{a_b \tau}} = \operatorname{erf} X_b = \frac{t_l - t_{crs}}{t_l - t_0}, \quad (7)$$

где  $k$  – коэффициент плотности бетона;  $a_b$  – коэффициент температуропроводности;  $\delta$  – толщина защитного слоя бетона;  $t_l$  – температура стандартного пожара,  $t_l = 1250^\circ\text{C}$ ;  $t_0$  – начальная температура,  $t_0 = 20^\circ\text{C}$ ;  $t_{crs}$  – критическая температура арматуры.

Результаты оценочных расчетов пределов огнестойкости изгибаемых элементов показаны в табл. 1.

По результатам расчетов также построены графики, представленные на рис. 1. На графиках хорошо видно, что использование фибробетонов и внешнего армирования углетканью

увеличивает несущую способность изгибаемого элемента. Причем, особенно наглядно этот эффект проявляется при больших нагрузках.

**Табл. 1 – Несущая способность и предел огнестойкости изгибаемых железобетонных элементов с фиброармированием**

Диаметр арматуры, мм		22	28	36	40
Суммарная площадь арматуры, $A_s, \text{м}^2$		0,00114	0,001847	0,003054	0,003768
Процент армирования, %		0,5	1,0	1,5	2,0
Несущая способность, $M, \text{кН}\cdot\text{м}$	Без фибро-армирования	152	312	476	605
	Стальная фибра	219	395	542	676
	Базальтовая фибра	200	365	525	672
	Синтетические волокна	186	350	513	662
	Армирование углетканью	236	409	560	686
Предел огнестойкости, $\tau, \text{мин.}$	Без фибро-армирования	105	99	92	80
	Стальная фибра	95	94	91	83
	Базальтовая фибра	100	98	95	90
	Синтетические волокна	103	100	93	85
	Армирование углетканью	72	58	–	–

Также позитивно сказывается использование фибробетонов и на огнестойкости изгибаемого элемента. Причем, этот эффект нагляднее проявляется при больших нагрузках. Следует заметить, что расчет предела огнестойкости проводился для несущей способности соответствующей проценту армирования каждого элемента. Поэтому разброс этих значений не очень большой.

Как и следовало ожидать, бетон с базальтовой фиброй наименее чувствителен к нагреву. Но и бетоны со стальной и синтетической фибрами оказались по этому показателю сравнимы с обычным бетоном. Возможно, это объясняется тем, что за время прогрева стальной арматуры до критической температуры расчетная высота сжатой зоны фибробетона остается большей, чем у обычного бетона.

Воздействие высокой температуры на изгибаемый элемент с внешним армированием углетканью имеет катастрофические последствия. После выключения углеткани из работы вследствие ее выгорания стальная арматура при больших рабочих нагрузках не обеспечивает прочности изделия.

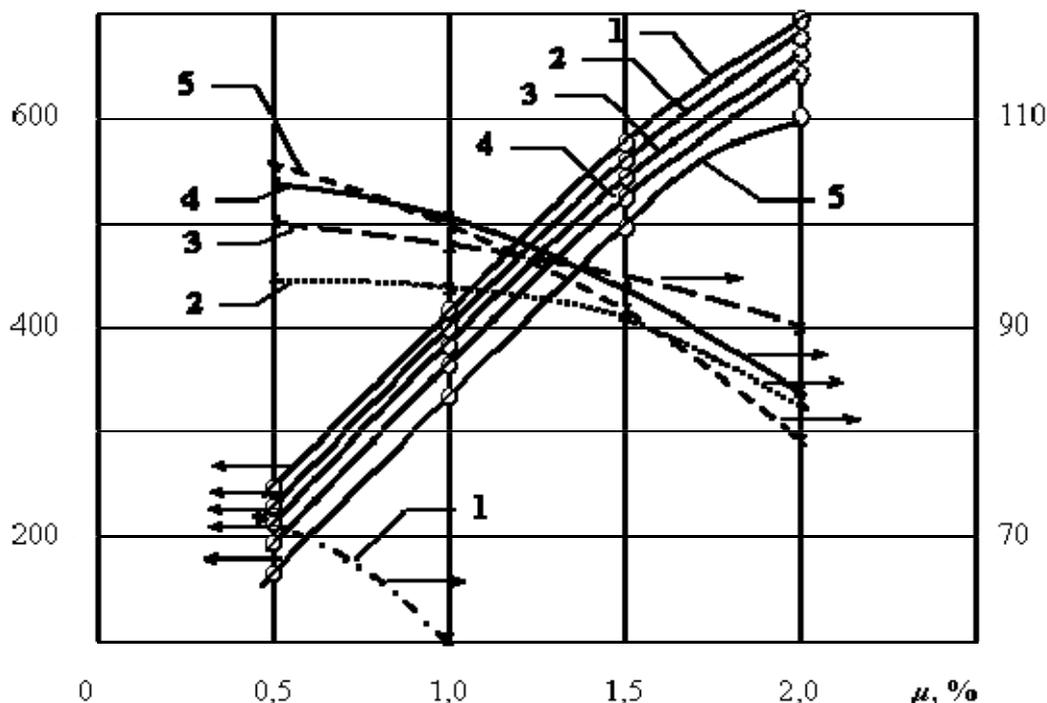


Рис. 1 – Зависимость несущей способности и предела огнестойкости изгибаемых железобетонных элементов с дополнительным армированием от процента армирования стальной арматуры: 1 – армирование углетканью; 2 – стальная фибра; 3 – базальтовая фибра; 4 – синтетические волокна; 5 – без дополнительного армирования

**Выводы.** Таким образом, расчеты показали, что дисперсное армирование железобетонного изгибаемого элемента стальной, базальтовой и синтетической фиброй увеличивает его несущую способность, а также повышает его предел огнестойкости, особенно при больших рабочих нагрузках.

Однако эти оценочные результаты не отменяют необходимости испытаний конструкций из фиброжелезобетона на предел огнестойкости, т.к. взаимодействие фибры и материала бетона при нагреве еще плохо изучено.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Баженов Ю.М. Технология бетонов XXI века / Ю.М. Баженов // Новые научные направления строительного материаловедения: материалы докладов Академических чтений РААСН. Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2005. – С. 9-19.
2. Пухаренко Ю.В. Эффективные фиброармированные материалы и изделия для строительства/ Ю.В. Пухаренко // Промышленное и гражданское строительство. – № 10. – 2007.

3. Шилин А.А. и др. Усиление железобетонных конструкций композиционными материалами / А.А. Шилин, В.А. Пшеничный, Д.В. Картузов. – М.: ОАО "Издательство "Стройиздат", 2004.

4. Мещерин В.Н. Предупреждение трещинообразования в бетоне с помощью фиброармирования / В.Н. Мещерин // Бетон и железобетон. – № 1 (6). – 2012. – С. 50-57.

5. Попов В.М. Оценка напряженно-деформированного состояния изгибаемых железобетонных элементов, усиленных композиционными материалами / В.М. Попов // ramag.ru/pressa/analiz-deform.

6. СНиП 2.03.01-84\*. Бетонные и железобетонные конструкции. Госстрой СССР, 1991.

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

nuczu.edu.ua

О.В. Васильченко, М.Б. Золочевський, І.М. Хмиров

**Оцінка межі вогнестійкості згинальних залізобетонних елементів, посилені фіброматеріалами**

На підставі оціночних розрахунків показано, що дисперсне армування залізобетонних згинальних елементів сталевую, базальтовою та полімерною фіброю збільшує їх несучу здатність, а також підвищує межу вогнестійкості, особливо при великих робочих навантаженнях.

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

A.V. Vasilchenko, N.B. Zolochovsky, I.M. Hmyrov

**Estimation of a limit of fire resistance of bent reinforced-concrete elements strengthened by fiber materials**

On the basis of estimated calculations it is shown that disperse reinforcing of reinforced-concrete bent elements by a steel, basalt and synthetic fiber increases their bearing ability, and also raises a fire resistance limit, especially at the big working loadings.

**Keywords:** fiber-concrete, steel fiber, basalt fiber, polymeric fiber, fire resistance limit.