

УДК 699.86

УМНЯКОВА Н.П., ПОТАПОВА Г.А., ПОТАПОВА Е.Д., СУЛТЫГОВА П.С.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ КАЧЕСТВ СТАЛЕФИБРОБЕТОНА

*Для повышения эффективности железобетонных конструкций и повышения прочностных характеристик в состав бетона вводят дискретные волокна (фибры) различного происхождения. При расчете железобетонных конструкций на огнестойкость необходимо знание теплофизических характеристик бетона. В статье представлены результаты по экспериментальному определению коэффициентов теплопроводности и удельной теплоемкости образцов из сталефибробетона со стальной проволочной волнистой фиброй в зависимости от процента содержания фибры по объему 1.5; 3.0 и 6.0 %. Также проведены испытания образцов матрицы (содержание фибры 0 %). Предложена методика и формула по определению удельной теплоемкости образцов сталефибробетона с использованием контактных регистраторов температуры. Результаты исследований показали, что коэффициент теплопроводности и удельная теплоемкость сталефибробетона зависят от процентного содержания фибры и уменьшаются с ростом процента содержания фибры по объему.*

**Ключевые слова:** *огнестойкость, сталефибробетон, фибра, коэффициент теплопроводности, удельная теплоемкость*

Снизить массивность конструкций, сократить в значительной степени расход бетона и арматуры позволяют сверхпрочные бетоны. Однако, такие факторы, как повышенная хрупкость, которая приводит к взрывоопасному характеру разрушения (spalling concrete – разбрасывающийся бетон), относительно низкое увеличение прочности на растяжение по сравнению с прочностью на сжатие, препятствуют созданию сверхпрочных бетонов. Для устранения этих негативных факторов можно добавлять в состав бетона стальную фибру и получить высокопрочный сталефибробетон [1]. Для повышения эффективности железобетонных конструкций и их прочностных характеристик в состав бетона надовводить дискретные волокна (фибры) различного происхождения [2]. Дисперсное армирование бетонов позволяет повысить их трещиностойкость, ударостойкость, износостойкость, увеличить стойкость бетона к воздействию агрессивной среды, а также в ряде случаев отказаться от использования стержневой арматуры или уменьшить ее расход. В качестве микрофибры можно использовать стекловолокно, стальные, базальтовые или полимерные волокна. При изгибе прочность фибробетона может принимать значения от 30 до 35 МПа, а при сжатии от 80 до 100 МПа [3].

Для фибробетона присущи, по сравнению с неармированным бетоном, более высокие показатели прочности, выносливости, водонепроницаемости, огнестойкости. Указанные свойства способствуют применению фибробетона в конструкциях, которые эксплуатируются в тяжелых условиях, таких как защитные оболочки АЭС, высотные и сверхвысотные здания, мосты, тоннели, морские сооружения и т.д.

Оценка огнестойкости железобетонных изгибаемых элементов на основе фибробетонов разного состава проведена по их расчетным пределам огнестойкости в [6]. В качестве базовых были выбраны изгибаемые железобетонные элементы с разным процентом армирования стальной арматурой класса А400 на основе бетона класса В25 с гранитным заполнителем. Сечение элементов прямоугольное с размерами 300x700x650 мм. Для сравнения рассмотрены аналогичные элементы на основе такого же бетона, но с дисперсным армированием стальной и базальтовой фиброй. Результаты оценочных расчетов огнестойкости изгибаемых элементов приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Несущая способность и предел огнестойкости изгибаемых железобетонных элементов с фиброармированием

Диаметр арматуры, мм		22	28	36	40
Суммарная площадь арматуры, $A_s$ , $м^2$		0,00114	0,001847	0,003054	0,003768
Процент армирования, %		0,5	1,0	1,5	2,0
Несущая способность, $M$ , $кН \cdot м$	Без фиброармирования	152	312	476	605
	Стальная фибра	219	395	542	676
	Базальтовая фибра	200	365	525	672
Предел огнестойкости, $\tau$ , мин.	Без фиброармирования	105	99	92	80
	Стальная фибра	95	94	91	83
	Базальтовая фибра	100	98	95	90

Из приведенной таблицы можно сделать вывод, что использование фибробетонов и армирование увеличивает несущую способность изгибаемого элемента и, причем особенно, при больших нагрузках.

Позитивно сказывается использование фибробетонов и на огнестойкости изгибаемого элемента. Этот эффект нагляднее проявляется при больших нагрузках.

Установлено, что бетон с базальтовой фиброй наименее чувствителен к нагреву. Бетон со стальной фиброй в работе [4] по чувствительности к нагреву сравним с обычным бетоном. Это можно объяснить тем, что за время прогрева стальной арматуры до критической температуры расчётная высота сжатой зоны фибробетона остается большей, чем у обычного бетона.

Расчеты [4,5] показали, что дисперсное армирование железобетонного изгибаемого элемента стальной или базальтовой фиброй (или в отдельных, наиболее напряженных элементах железобетонной фермы, стальной фиброй) увеличивает его несущую способность, повышает его предел огнестойкости, особенно при больших рабочих нагрузках и при увеличении процента армирования. Здесь преимуществом фибробетона является возможность его применения для значительного усиления ферм при увеличении рабочей нагрузки без изменения их внешнего вида и сечения элементов. Также установлено, что экономичность сталефибробетона повышается за счет снижения веса рабочей арматуры и при этом обеспечивается требуемым пределом огнестойкости благодаря повышению пределов огнестойкости ее отдельных элементов.



Рисунок 1 - Стальная проволочная волнистая фибра

В [6] изучено воздействие высоких температур при пожаре на изменение прочности при изгибе сталефибробетонов с высокопрочной цементно-песчаной матрицей при различных процентах армирования фиброй разной прочности, вида и диаметра. Установлено, что в диапазоне температур от 20 до 1100 С прочность на растяжение при изгибе зависит от всех перечисленных характеристик фибры.

Экспериментальная часть. В соответствии с СТО 36554501-006-2006 [7] при расчете железобетонных конструкций на огнестойкость необходимо знание теплофизических характеристик бетона. Теплофизические свойства сталефибробетона (теплопроводность, температуропроводность, теплоемкость) зависят от объемного содержания фибры и влажности материала [8]. Поэтому были проведены исследования с целью определения коэффициента теплопроводности и удельной теплоемкости сталефибробетона в зависимости от процентного содержания фибры. Нами были испытаны образцы из сталефибробетона со стальной проволочной

фибры. Нами были испытаны образцы из сталефибробетона со стальной проволочной

ной волнистой фиброй ФСПВ 0,3х15 (т.е. длина волокон фибры 15 мм, а диаметр 0.3 мм) (рис. 1). Были испытаны образцы сталефибробетона 250×250×30 ммс содержанием фибры по объему 1.5; 3.0 и 6.0 %, а также матрица (содержание фибры 0 %). Теплофизические характеристики образцов с содержанием фибры сравнивались с данными по матрице. Сталефибробетонные образцы изготавливались на цементно-песчаной матрице.

### Определение коэффициента теплопроводности

При определении коэффициента теплопроводности сталефибробетона при стационарном тепловом режиме по стандартизированной методике по ГОСТ 7076 -99 [9] была использована установка ПИТ 2.1. Образцы фибробетона были перед испытанием высушены до постоянной массы.

Результаты исследований показали, что коэффициент теплопроводности  $\lambda$  сталефибробетона зависит от процентного содержания фибры и уменьшается с ростом процента содержания фибры по объему  $\mu_{fv}$  (рис.2). Для данных результатов эту зависимость можно описать уравнением вида:

$$\lambda = -0,037\mu_{fv} + 1,006$$

Предполагаем, что на теплопроводность фибробетона влияют воздушные промежутки между матрицей и фиброй. Поэтому с увеличением процентного содержания фибры увеличивается количество воздушных промежутков и происходит уменьшение коэффициента теплопроводности сталефибробетона.

### Определение удельной теплоемкости

Для определения теплоемкости образцов сталефибробетона была предложена следующая методика. Испытания проводили в соответствии с ГОСТ 7076 -99. Наряду с исследуемыми образцами фибробетона использовали эталонный образец с известной теплоемкостью - оптическое стекло. Размеры образцов и эталона были одного порядка. Электрический сушильный шкаф имел температуру прогрева 100°C. Данная методика предусматривает использование универсальной системы температурного мониторинга во времени.

В прогретый до заданной температуры (90°C) сушильный электрошкаф помещали на 4 часа, исследуемый образец и эталон, которые были снабжены запрограммированными контактными регистраторами температуры -термохронами. Затем они вынимались и охлаждались в одинаковых условиях до комнатной температуры. (20±2)°C. Считывая с помощью персонального компьютера информацию с регистраторов температуры, определяли время остывания для исследуемого образца и эталона. Термохроны позволяли регистрировать температуру прогрева образцов и эталона через определенные, заданные нами заранее промежутки времени (2-5мин.) и сохранять полученную информацию в собственной энергонезависимой памяти. Диапазон регистрируемых температур регистраторов температуры составлял от «-40°C» до «+85°C», поэтому был выбран электрошкаф с прогревом до 100°C.

Регистраторы температуры приклеивались к образцам в соответствии с ГОСТ 19783-74[10] с помощью кремнийорганической теплопроводной пасты, которая обеспечивала эффективный тепловой контакт между двумя соприкасающимися поверхностями, исследуемым образцом и регистратором температуры. Рабочая температура для такой пасты находится в интервале от «-40» до «+180»°C.

Для определения влияния наличия фибры, ее процентного содержания в образцах и для получения более полной картины прогрева образца, а также более достоверных значений теплоемкости, приклеивали на поверхность каждого образца по пять термохрон (в центре поверхности и по диагоналям). По ним определяли средние значения времени и температур нагрева и остывания образцов, которые использовались при определении значений теплоемкости (рис.3).

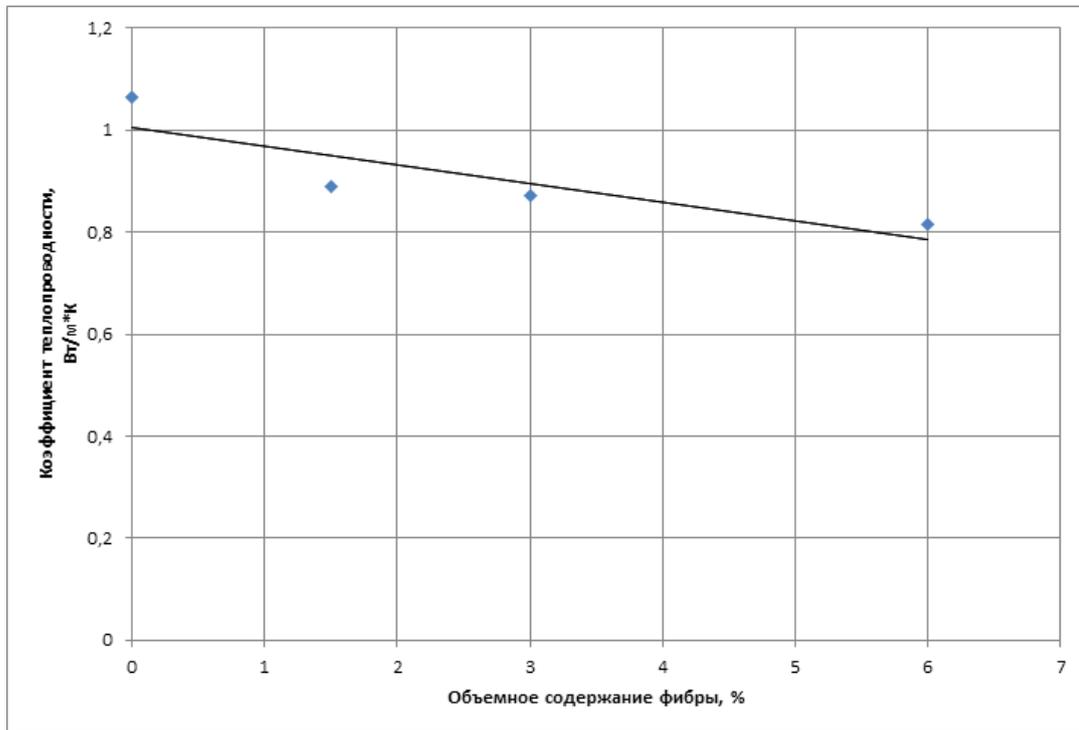


Рисунок 2 - Зависимость коэффициента теплопроводности  $\lambda$  сталефибробетона от объемного содержания фибры  $\mu_{fv}$



Рисунок 3 - Образцы из фибробетона и оптического стекла с термохронами

Показания по изменению значений температуры в образцах и эталоне во времени расшифровывали с использованием программы на персональном компьютере.

Для вычисления теплоёмкости образцов предложена следующая формула:

$$C_{обр} = C_{эт} \frac{m_{эт} t_{обр}}{m_{обр} t_{эт}},$$

где  $C_{эт}$  - коэффициент теплоёмкость эталона, Дж/(кг\*К);

$m_{эт}$  - масса эталона, кг;

$m_{обр}$  - масса образца, кг;

$t_{обр}$  - время остывания образца, с;

$t_{эт}$  - время остывания эталона, с.

Результаты эксперимента показали, что удельная теплоемкость сталефибробетона зависит от процентного содержания фибры и уменьшается с ростом процента содержания фибры по объему  $\mu_{fv}$  (рис.4). Для данных результатов эту зависимость можно описать уравнением вида:

$$C = -17,3\mu_{fv} + 958,2$$

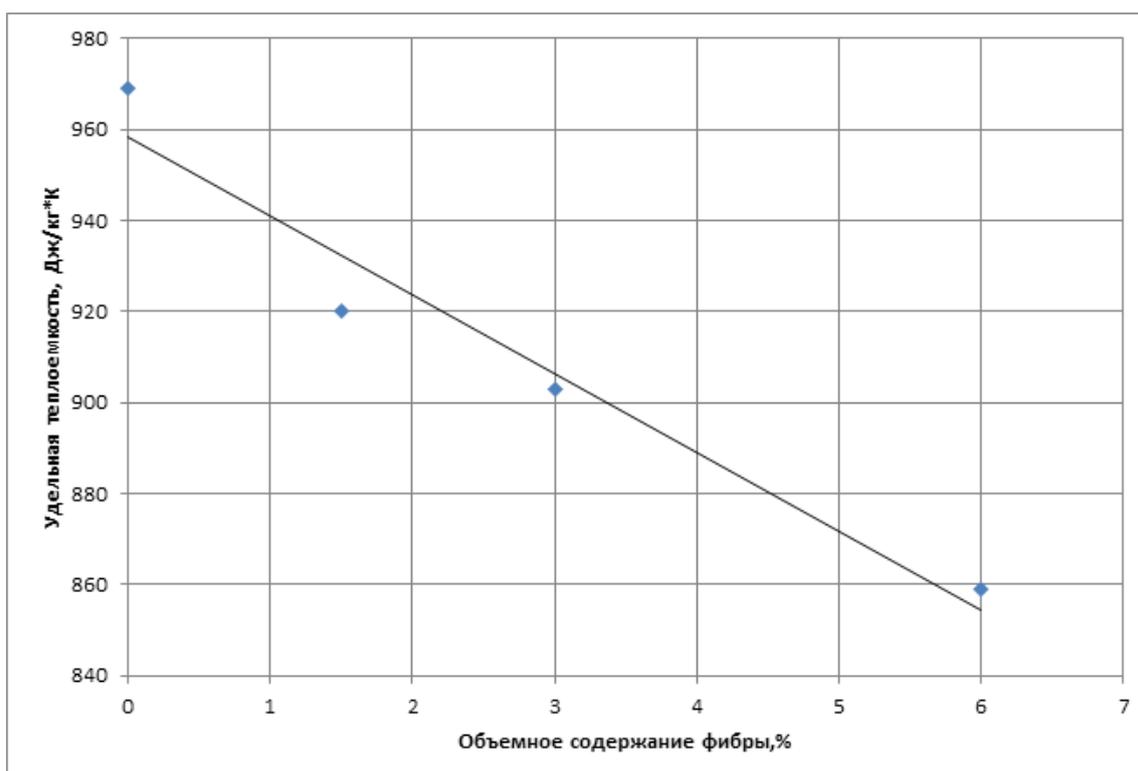


Рисунок 4 - Зависимость удельной теплоемкости Сталефибробетона от объемного содержания фибры  $\mu_{fv}$

**Вывод.** Установлено, что коэффициент теплопроводности  $\lambda$  и удельная теплоемкость Сталефибробетона зависят от процентного содержания фибры и уменьшаются с ростом процента содержания фибры по объему  $\mu_{fv}$ .

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Карпенко Н.И., ТравушВ.И., КаприеловС.С., Мишина А.В., Андрианов А.А., БезгодовИ.М. Исследование физико-механических и реологических свойств высокопрочного сталефибробетона // Строительные науки. -2013. - №1.-С. 106-113.
2. 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.
3. ПухаренкоЮ.В. Эффективные фиброармированные материалы и изделия для строительства / Ю.В.Пухаренко// Промышленное и гражданское строительство. --2007. - №10.
4. Васильченко А.В.] Васильченко А.В. Оценка огнестойкости изгибаемых железобетонных элементов, усиленных фиброматериалами /А.В.Васильченко// Проблемы обеспечения безопасности при ликвидации чрезвычайных ситуаций, - 2014. -№1. - С.178-180.
5. Васильченко А.В., И.М.Хмыров] А.В. Васильченко, И.М. Хмыров Оценка огнестойкости железобетонной фермы при использовании фибробетона в ее отдельных элементах/А.В.Васильченко// «Проблемы пожарной безопасности», -2014. - Выпуск 36. -С. 58-62.
6. Дорф В. А., Красновский Р. О., Капустин Д. Е., СултыговаП.С. Влияние характеристик стальной фибры и ее содержание в сталефибробетоне на его огнестойкость //Вестник гражданский инженеров СПбГАСУ. - 2017. - №5(64) - С.38-46
7. СТО36554501-006-2006 Правила по обеспечению огнестойкости и огнесохранности железобетонных конструкций. - М.-2006-81с.
8. КоледаЕ.А., ЛеоновичС.Н., ЛатышА.В. Анализ физико-механических характеристик сталефибробетона//Материалы XXмеждународного научно-методического семинара. -Гродно. ГрГУим. Я.Купалы. - 2016.- С.248-253.

9. ГОСТ 7076-99 Материалы и изделия строительные. Метод определения теплопроводности и термического сопротивления при стационарном тепловом режиме.  
10. ГОСТ 19783-74 Паста кремнийорганическая теплопроводная. Технические условия.

**Умнякова Нина Павловна**  
НИИСФРААСН, г. Москва  
Кандидат технических наук,  
Заместитель директора по научной работе РААСН  
E-mail: [n.umniakova@mail.ru](mailto:n.umniakova@mail.ru)

**Потапова Галина Алексеевна**  
НИИСФРААСН, г. Москва  
Главный метролог НИИСФРААСН  
E-mail: [niisf322f@mail.ru](mailto:niisf322f@mail.ru)

**Потапова Евгения Дмитриевна**  
НИИСФРААСН, г. Москва  
Инженер НИИСФРААСН  
E-mail: [niisf322f@mail.ru](mailto:niisf322f@mail.ru)

**Султыгова Пятимат Суламбековна**  
Ингушский государственный университет, г. Магас  
Кандидат технических наук, доцент кафедры  
«Общая физика»  
E-mail: [sultygova@yandex.ru](mailto:sultygova@yandex.ru)

---

UMNYAKOVA N.P., POTAPOVA G.A., POTAPOVA E.D., SULTYGOVA P.S.

## INVESTIGATION OF THERMAL PROTECTIVE QUALITY OF STEEL-FIBROBETON

*To increase the efficiency of reinforced concrete structures and increase the strength characteristics, discrete fibers (fibers) of various origins are introduced into the concrete composition. When calculating reinforced concrete structures for fire resistance, it is necessary to know the thermal physical characteristics of concrete. The paper presents the results of the experimental determination of the thermal conductivity and specific heat of specimens made of steel fiber-reinforced concrete with steel wire wavy fiber, depending on the percentage of fiber content in volume 1.5; 3.0 and 6.0%. The samples of the matrix (fiber content 0%) were also tested.*

*A technique and a formula for determining the specific heat of steel-fiber-concrete samples using contact temperature recorders are proposed. The results of the research showed that the coefficient of thermal conductivity and the specific heat of steel fiber-reinforced concrete depend on the percentage of fiber and decrease with increasing percentage of fiber content by volume.*

**Keywords:** *fire resistance, steel fiber-reinforced concrete, fiber, thermal conductivity, specific heat*

## REFERENCES

1. Karpenko N.I., Travush V.I., Kapriylov S.S., Mishina A.V., Andrianov A.A., Bezgodov I.M. Issledovaniye fiziko-mekhanicheskikh i reologicheskikh svoystv vysokoprochnogo stalefibrobetona // Stroitel'nyye nauki. -2013. - №1.- S. 106-113.
2. Bazhenov YU.M. Tekhnologiya betonov XXI veka /YU.M.Bazhenov// Novyye nauchnyye napravleniya stroitel'nogo materialovedeniya: materialy dokladov Akademicheskikh chteniy RAASN. - Belgorod: Izd-vo BG TU im. V.G.Shukhova.- 2005.-S.9-19.
3. Pukharenko YU.V. Effektivnyye fibroarmirovannyye materialy i izdeliya dlya stroitel'stva / YU.V.Pukharenko// Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitel'stvo. --2007. - №10.
4. Vasil'chenko A.V.] Vasil'chenko A.V. Otsenka ognestoykosti izgibayemykh zhelezobetonnykh elementov, usilennykh fibromaterialami /A.V.Vasil'chenko// Problemy obespecheniya bezopasnosti pri likvidatsii chrezvychaynykh situatsiy, - 2014. -№1. - S.178-180.
5. Vasil'chenko A.V., I.M.Khmyrov] A.V. Vasil'chenko, I.M. Khmyrov Otsenka ognestoykostizhelezobetonnoy fermy pri ispol'zovanii fibrobetona v yeye otdel'nykh elementakh/A.V.Vasil'chenko// «Problemy pozharnoy bezopasnosti», -2014. - Vypusk 36. -S. 58-62.
6. Dorf V. A., Krasnovskiy R. O., Kapustin D. Ye., Sultygova P.S. Vliyaniye kharakteristik stal'noy fibry i yeye sodержaniye v stalefibrobetone na yego ognestoykost' //Vestnik grazhdanskiy inzhenerov SPbGASU. - 2017. - №5(64) - S.38-46

7. STO36554501-006-2006 Pravila po obespecheniyu ognestoykosti i ognesokhrannosti zhelezobetonnykh konstruksiy. - M.-2006-81s.
8. KoledaE.A., LeonovichS.N., LatyshA.V. Analiz fiziko-mekhanicheskikh kharakteristik stalefibrobetona//Materialy XXmezhdunarodnogo nauchno-metodicheskogo seminar. -Grodno. GrGUim. YA.Kupaly. - 2016.- S.248-253.
9. GOST 7076-99 Materialy i izdeliya stroitel'nyye. Metod opredeleniya teploprovodnosti i termicheskogo so-protivleniya pri statsionarnom teplovom rezhime.
10. GOST 19783-74 Pasta kremniyorganicheskaya teploprovodnaya. Tekhnicheskiye usloviya.

**Umnyakova Nina Pavlovna**  
SRIBP RAACS, Moscow  
Candidate of Technical Sciences,  
Deputy Director for Scientific Work of the RAACS  
E-mail: n.umniakova@mail.ru

**Potapova Galina Alekseevna**  
SRIBP RAACS, Moscow  
Chief Metrologist SRIBP RAACS  
E-mail: niisf322f@mail.ru

**Potapova Evgenia Dmitrievna**  
SRIBP RAACS, Moscow  
Engineer SRIBP RAACS  
E-mail: niisf322f@mail.ru

**Sulygova Pyatimat Sulambekovna**  
Ingush State University, Magas  
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of  
the department "General Physics"  
E-mail: sulygova@yandex.ru