

## О НЕКОТОРЫХ РЕЗУЛЬТАТАХ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЧНОСТИ И ДЕФОРМАТИВНОСТИ СЖАТЫХ УСИЛЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ОБОЙМАМИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ САМОУПЛОТНЯЮЩЕГОСЯ СТАЛЕФИБРОБЕТОНА

*П.Г. Поднебесов, В.В. Теряник*

Представлены результаты экспериментальных исследований по изучению влияния на прочность и деформативность сжатых усиленных элементов вида бетона в обойме.

*Ключевые слова:* самоуплотняющийся сталефибробетон, обойма, фибра, комбинированное армирование, ССФБ, СУБ

Существует достаточно много способов усиления железобетонных колонн. Самым простым по трудовым и экономическим затратам являются обоймы. Данный вопрос хорошо изучен, что отражено в литературе [5], однако с развитием инновационных материалов существующих способов усиления недостаточно.

В развитие работ [2, 6], авторами статьи проведены экспериментальные исследования влияния на прочность и деформативность сжатых железобетонных колонн разновидности бетона усиления.

В соответствии с нормами проектирования железобетонных элементов [5] были изготовлены образцы колонн сечением 80×140 мм, длиной 900 мм ( $\lambda = 39$ ) из самоуплотняющегося бетона В20 (М250) состава 1:0,91:3,14 при водоцементном отношении 0,52. В качестве крупного заполнителя применялся гранитный отсев фракции 0–5 мм. Эффект самоуплотнения достигался использованием химической добавки поликарбоксилат концентрацией 1,5 % от массы цемента. Осадка конуса 22–24 см. Контроль прочности осуществлялся испытанием бетонных кубиков стандартной величины. Продольное армирование элементов: 4 стержня диаметром 8 мм АIII (А400), предел текучести 440 МПа, предел прочности 640 МПа, относительное удлинение 27 %. Поперечное армирование выполнено в виде замкнутых хомутов из арматуры 5 мм Вр-I (В500) с шагом 120 мм.

Усиление колонн производилось обоймами круглого сечения с использованием самоуплотняющегося бетона (СУБ) и самоуплотняющегося сталефибробетона (ССФБ). Для исключения смятия колонн была предусмотрена конструкция усиления оголовка. Способ обработки поверхности усиливаемого элемента был выбран стандартным, то есть за 1 час до бетонирования поверхность колонны очищалась от пыли щетками и промывалась водой.

Обоймы изготавливались двух видов:

- из СУБ В20 (М250) состава 1:0,91:3,14;
- из ССФБ, бетон-матрица В20 (М250) состава 1:0,91:3,14.

Армирование обойм элементов ЭСУ выполнено стандартным: 6 стержней диаметром 8 мм АIII (А400) в продольном направлении и диаметром 6 мм АI (А240) с шагом 80 мм – в поперечном, однако поперечные хомуты были загнуты таким образом, чтобы получилось кольцо.

Армирование обойм в элементах ЭСУ (ф) выполнено комбинированным: стержневым, по аналогии с элементами ЭСУ, и стальной волновой латунированной фиброй (длина волокна 15 мм, диаметр 0,3 мм,  $l/d=50$ ). Процент армирования был выбран исходя из исследований [1, 7] и составил 2 % фибрового волокна по объёму, то есть 130 кг/м<sup>3</sup>. Высота обойм принималась из опыта проектирования равной высоте колонны.

Следует отметить, что стальная фибра вводилась в состав бетона постепенно. Вследствие использования добавки поликарбоксилат, а также постепенного введения фибры в бетонной смеси не образовывались комки и ежи, цементное тесто не скапливалось на фибре, а фибра, в свою очередь, равномерно распределялась по объёму фибробетона. К числу положительных моментов стоит отнести и тот факт, что бетонная смесь после заливки в металлоформы не уплотнялась механически. Таким образом, была сокращена трудоёмкость изготовления железобетонных элементов.

Для предотвращения смятия в опорных частях обоймы шаг поперечных хомутов уменьшался вдвое в соответствии с [3].

Для измерения деформаций на продольную и поперечную арматуру наклеивались фольговые тензорезисторы КФ5П1-20-200, на них наносился герметик. Гидроизоляция выполнялась слоем эпоксидной смолы. Расположение тензорезисторов было следующим: продольная арматура усиливаемого элемента и обоймы, поперечная арматура обоймы.

Для испытания элементы изготовлены с симметричным армированием на формовочном участке завода ТЗЖБИ (г. Тольятти Самарской области).

Статические испытания проводилось в строительной лаборатории кафедры «Промышленное и гражданское строительство» Тольяттинского государственного университета с использованием пресса П-250 на осевое сжатие. Нагрузка прикладывалась ступенями, равными 10 % от разрушающей нагрузки. Регистрация деформаций осуществлялась тензометрической станцией ММТС-64.01.

Проведенные исследования показали, что железобетонные элементы ЭС разрушались с образованием продольных трещин. Усиленные образцы разрушались по обойме, заметного отслоения бетона обойм не обнаружено. Экспериментальные элементы разрушались по обойме с образованием продольных трещин, выпучивания продольной арматуры не обнаружено. Характер разрушения обойм показывает наличие в них поперечных деформаций (рис. 1).

Разрушающая нагрузка для образцов ЭС составила в среднем 225 кН. Образцы с обоймой, выполненной из ССФБ (ЭСУ 2-1ф), показали наибольшую несущую способность по сравнению с остальными элементами, которая составила 675 кН. Деформации в продольной арматуре обоймы составили  $240 \cdot 10^{-5}$ , в поперечной арматуре обоймы –  $157 \cdot 10^{-5}$ . Несущая способность элементов, обойма которых выполнена из СУБ (ЭСУ 2-1), составила 620 кН. Деформации в продольной арматуре обоймы составили  $154 \cdot 10^{-5}$ , в поперечной арматуре обоймы –  $46 \cdot 10^{-5}$ .

Отмечено также, что железобетонные обоймы включались в работу несколько позже, за счёт не-

значительного проскальзывания по поверхности элемента.

Элементы ЭСУ (ф) деформировались с образованием сетки мелких «волосяных» трещин (рис. 1), в то время как ЭСУ – с образованием вертикальных трещин, ширина которых многим больше ширины раскрытия в обоймах из ССФБ.

Как видно из рис. 2, 3, в элементах ЭСУ(ф) с ростом нагрузки возрастают продольные и поперечные деформации, однако образование трещин долгое время не наблюдается. Максимальная концентрация сеток трещин отмечена в опорных частях элементов. В то время как в ЭСУ с ростом нагрузки начинает разрушаться элемент, образуются продольные трещины по всей высоте обоймы.

Таким образом, стальная волновая латунированная фибра действительно сдерживает поперечные деформации в обойме железобетонного элемента.

По результатам испытаний самоуплотняющийся сталефибробетон является наиболее выгодным инновационным материалом с точки зрения новизны и технического результата. На данный момент широкое применение данного вида бетона сдерживает пока еще высокая цена фибрового волокна. Как отмечалось в статье [4], существует эмпирическая зависимость между классами бетона на сжатие и растяжение при изгибе. Исходя из этого, ССФБ В20(М250) эквивалентен бетону В30(М400). Таким образом, запустив стальную фибру в массовое производство, есть возможность



Рис. 1. Вид разрушения элементов ЭСУ (ф):  
1 – стальная волновая латунированная фибра;  
2 – бетон обоймы

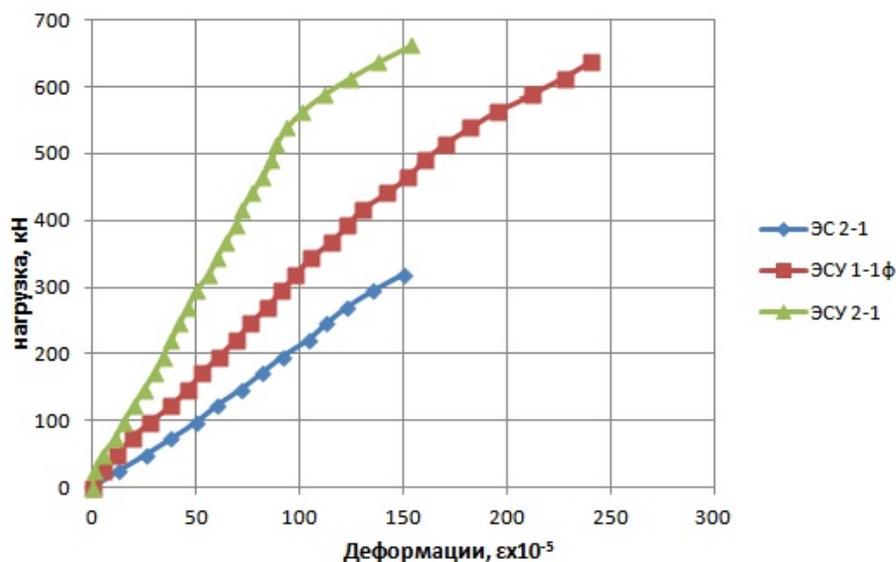


Рис. 2. Зависимость  $N-\epsilon_{sc}$  для элементов: ЭС2-1, ЭСУ 2-1ф, ЭСУ2-1

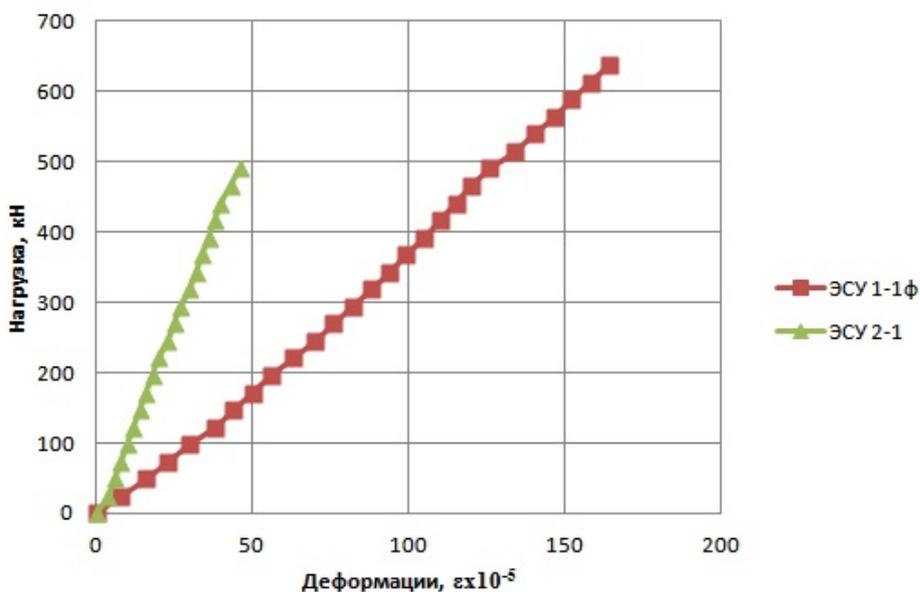


Рис. 3. Зависимость  $N-\epsilon_w$  для элементов: ЭС2-1, ЭСУ 2-1ф, ЭСУ2-1

снизить стоимость товарного фибробетона по отношению к обычному В30.

Следовательно, есть все предпосылки получить максимальный эффект от применения самоуплотняющегося сталефибробетона.

### Литература

1. Влияние фибр на прочностные характеристики фибробетона / М.С. Спицына, О.В. Лошакова, В.М. Струлев и др. // Труды ТГТУ: сб. науч. ст. молодых ученых и студентов. Вып. 16. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. тех. ун-та, 2004. – С. 31–34.

2. Новые конструктивные решения усиления сжатых элементов обоямами / В.В. Теряник,

А.Ю. Бирюков, А.О. Борисов и др. // Жилищное строительство. – 2009. – № 7. – С. 8–9.

3. Пат. 2486322 Российская Федерация. Элемент усиления колонны / П.Г. Поднебесов, В.В. Теряник; заявитель и патентообладатель П.Г. Поднебесов. – № 2011149086; заявл. 01.12.2011; опубл. 27.06.2013, Бюл. №18. – 2 с.

4. Поднебесов, П.Г. Особенности применения самоуплотняющегося сталефибробетона при усилении железобетонных колонн / П.Г. Поднебесов, В.В. Теряник / Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2014. – Т. 14, № 1. – С. 23–26.

5. СНиП 2.03.01-84\*. Бетонные и железобетонные конструкции / Госстрой России; Введ.

1988. – М.: НИИЖБ Госстроя СССР, 1988 (ФГУП НИИЦ «Строительство» Росстроя). – 110 с.

6. Теряник, В.В. Прочность, устойчивость и деформативность железобетонных колонн, усиленные обоями / В.В. Теряник. – Челябинск: Южно-

Уральское книжное издательство, 2004. – 188 с.

7. Хегай, А.О. Внецентренно сжатые элементы из фибробетона, армированные высокопрочной арматурой: автореф. дис. ... канд. техн. наук / А.О. Хегай. – Санкт-Петербург, 2011. – 21 с.

Поднебесов Павел Геннадьевич, аспирант кафедры «Промышленное и гражданское строительство», Тольяттинский государственный университет, p.podnebesov@gmail.com

Теряник Владимир Васильевич, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Промышленное и гражданское строительство», Тольяттинский государственный университет, tsp@tltsu.ru

Поступила в редакцию 6 октября 2014 г.

**Bulletin of the South Ural State University  
Series "Construction Engineering and Architecture"  
2014, vol. 14, no. 4, pp. 30–33**

## ON THE RESULTS OF EXPERIMENTAL RESEARCH IN STRENGTH AND DEFORMABILITY OF COMPRESSED ELEMENTS STRENGTHENING BY CAGE CONSTRUCTIONS WITH THE USE OF SELF-CONSOLIDATING STEEL FIBER CONCRETE

P.G. Podnebesov, Togliatti State University, Togliatti, Samara Region, Russian Federation, p.podnebesov@gmail.com  
V.V. Teryanik, Togliatti State University, Togliatti, Samara Region, Russian Federation, tsp@tltsu.ru

The results of experimental research of the influence of concrete in cage constructions on strength and deformability of concrete compressed elements are given.

Keywords: self-consolidating steel fiber concrete, cage construction, fiber, combined reinforcement, glass fiber reinforced concrete, self-compacting concrete.

### References

1. Spitsyna M.S., Loshakova O.V., Strulev V.M., Ledenev V.V. [Influence of fibers on strength characteristics fiberconcrete]. *Works of TGTU: Collection of scientific articles of young scientists and students*. Tambov, Tamb. St. Univ. Publ., 2004, iss. 16, pp. 31–34 (in Russ.)
2. Teryanik V.V., Biryukov A.Yu., Borisov A.O., Shchipanov R.V. [New structural concepts of strengthening of compressed members with fixtures]. *Housing construction*, 2009, no. 7, pp. 8–9. (in Russ.)
3. Podnebesov P.G., Teryanik V.V. *Element usileniya kolonny* [Element of pillar reinforcement]. Patent RF, no. 2486322, Application 27.06.2013.
4. Podnebesov P.G., Teryanik V.V. [Peculiarities of self-consolidating steel fiber concrete using with strengthening reinforced concrete columns]. *Bulletin of South Ural State University. Ser. Construction engineering and architecture*, 2014, vol. 14, no. 1, pp. 23–26 (in Russ.).
5. SNiP 2.03.01-84\*. *Betonnye i zhelezobetonnye konstruksii* [Construction rules 2.03.01-84\*. Concrete and reinforced concrete constructions]. Moscow, Stroitelstvo Publ., 1988, 110 p.
6. Teryanik V.V. *Prochnost', ustoychivost' i deformativnost' zhelezobetonnykh kolonn, usilenie oboymami* [Durability, stability and deformability of reinforce concrete columns, strengthening by jacking constructions]. Chelyabinsk, Southern Ural book publ., 2004, 188 p.
7. Khegay, A.O. *Vnetsentrenno szhatye elementy iz fibrobetona, armirovannyye vysokoprochnoy armaturoy*. Avtoref. kand. diss. [Non-central stressed elements of fiber concrete, reinforced by high-strength fittings. Abstract of cand. diss.]. St. Petersburg, 2011, 21 p.

Received 6 October 2014