

## СОПРОТИВЛЕНИЕ СЖАТЫХ ЭЛЕМЕНТОВ, УСИЛЕННЫХ ОБОЙМАМИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ САМОУПЛОТНЯЮЩЕГОСЯ СТАЛЕФИБРОБЕТОНА, ДЕЙСТВИЮ ПРОДОЛЬНЫХ СИЛ

П.Г. Поднебесов, В.В. Теряник

Тольяттинский государственный университет, г. Тольятти

Представлены результаты экспериментальных исследований по изучению влияния на прочность и деформативность сжатых усиленных элементов, испытанных на осевое сжатие, вида бетона в обойме. Показано, что несущая способность усиленных элементов увеличивается за счет эффекта обоймы. Предложен метод расчета усиленных элементов с учетом объемного напряженного состояния в обоймах круглого сечения.

*Ключевые слова:* самоуплотняющийся сталефибробетон (ССФБ), эксцентриситет, обойма, фибра, комбинированное армирование, СУБ.

Как известно, современная строительная наука предлагает достаточно большое разнообразие способов усиления строительных конструкций, в частности, железобетонных колонн [1]. Однако методика расчетов усиления сжатых железобетонных колонн пока остается несовершенной. Так, при разработке новых конструктивных решений усиления элементов колонн с использованием новых материалов, таких как самоуплотняющийся сталефибробетон, существует необходимость предварительного теоретического расчета разрушающей нагрузки. Однако в действующих строительных нормах [2, 3] такие зависимости, к сожалению, отсутствуют.

Существуют методики [4] определения прочности бетонного ядра колонн кольцевого поперечного сечения, однако, в силу того, что авторами используется металлическая оболочка в качестве съемной опалубки, данная методика не совсем подходит для определения прочности колонн, усиленных обоймами с вариацией бетона усиления.

Для расчета сжатых железобетонных элементов, усиленных железобетонными обоймами, В.В. Теряник предложил [5] использовать выражение

$$N \leq \varphi \gamma_c \left[ R_{b1} + m_1 \cdot m_s^k K_1^* \sigma_0 \right] A_{b1} + R_{sc} A_s + \gamma_{wb} \left( \left( R_{b2} + m_2 \cdot m_s^k K_2^* \sigma_0 \right) A_{ef} + R_{scob} A_{scob} m \right). \quad (1)$$

Условие прочности (1) можно использовать при расчете сжатых железобетонных элементов, усиленных обоймами, с использованием самоуплотняющегося сталефибробетона с учетом эмпирического соотношения, полученного в ходе реализации физического эксперимента [6]. При расчете сжатых усиленных моделей колонн введено некоторое допущение: использование гипотезы плоских сечений.

Использование (1) для расчета сжатых железобетонных элементов, усиленных обоймами круглого сечения, возможно с учетом некоторых преобразований. Коэффициент эффективности

бокового обжатия необходимо определять по выражению:

$$K^* = 2K, \quad (2)$$

где значение коэффициента  $K$  определяется зависимостью вида:

$$K = \frac{5 + \alpha}{1 + 4,5\alpha}; \quad (3)$$

$$\alpha = \frac{\mu_{cir} \cdot R_{sc}}{R_b}, \quad (4)$$

где  $\mu_{cir}$  – коэффициент армирования косвенной арматурой кольцевого сечения определяется по выражению:

$$\mu_{cir} = \frac{4 \cdot A_{s,cir}}{S \cdot d_{ef}}, \quad (5)$$

где  $A_{s,cir}$  – площадь поперечного сечения арматуры кольцевого сечения;  $d_{ef}$  – диаметр сечения внутри спирали (кольца);  $S$  – расстояние между кольцами.

Уровень бокового обжатия  $\sigma_0$  для арматуры кольцевого сечения определяется по формуле:

$$\sigma_0 = 2\mu_{cir} \sigma_y, \quad (6)$$

где  $\sigma_y$  – предел текучести арматуры колец.

В условиях отсутствия в нормативной литературе зависимостей для учета эффекта обоймы за счет дисперсного (объемного) армирования, авторами было сделано предположение, основанное на экспериментальных исследованиях [6]: обжатие дисперсного армирования учитывалось увеличением класса бетона  $R_{b2}$ , участвующего в расчете по формуле (1).

В предыдущих статьях авторов [7, 8] отмечалось существенное увеличение несущей способности элементов, усиленных обоймами с использованием самоуплотняющегося сталефибробетона. В данной статье сравнивали экспериментальные данные с теоретическими, рассчитанными на основе выбранной методики (1). Результаты расчетов сведены в таблицу.

Результаты испытания сжатых элементов, усиленных обоймами

Маркировка образцов	Экспериментальное значение, $N_{obsu}$ , кН	Теоретическое значение, $N_u$ , кН	$N_{obsu}/N_u$	Эффект обоймы
ЭС 1-1	274,59	358,10	0,77	–
ЭС 1-2	343,23	382,64	0,90	
ЭС 1-3	323,62	368,38	0,88	
ЭСУ 1-1	637,43	578,77	1,10	86 %
ЭСУ 2-1	637,43	702,10	0,91	
ЭСУ 3-1	539,37	716,52	0,75	
ЭСУ 1-1ф	661,95	694,87	0,95	99 %
ЭСУ 2-1ф	661,95	716,16	0,92	
ЭСУ 3-1ф	588,40	747,36	0,79	

Разрушающая нагрузка для неусиленных образцов составила в среднем 310 кН. Усиленные образцы с обоймами, выполненными из ССФБ показали наибольшую несущую способность по сравнению с остальными элементами, которая составила в среднем 637 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 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, в то время как ЭСУ – с образованием вертикальных трещин, ширина которых многим больше по сравнению с обоймами из ССФБ.

Как видно из графиков (рис. 1, 2), 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,

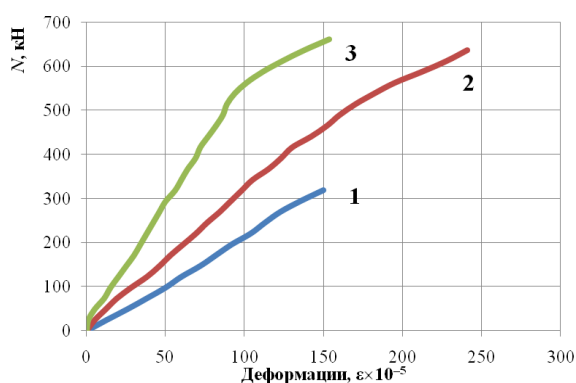


Рис. 1. Зависимость  $N - \epsilon_{sc}$  для элементов:  
1 – неусиленный, 2 – усиленный обоймами из СУБ, 3 – усиленный обоймами из ССФБ

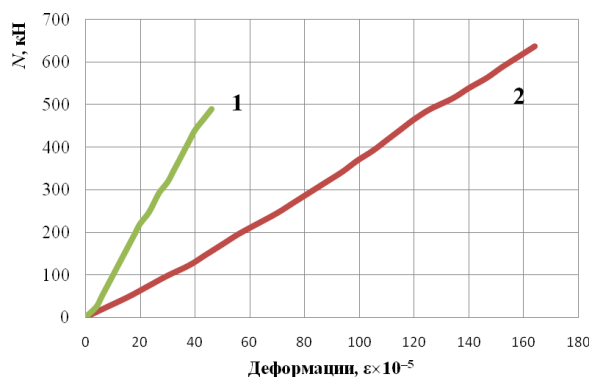
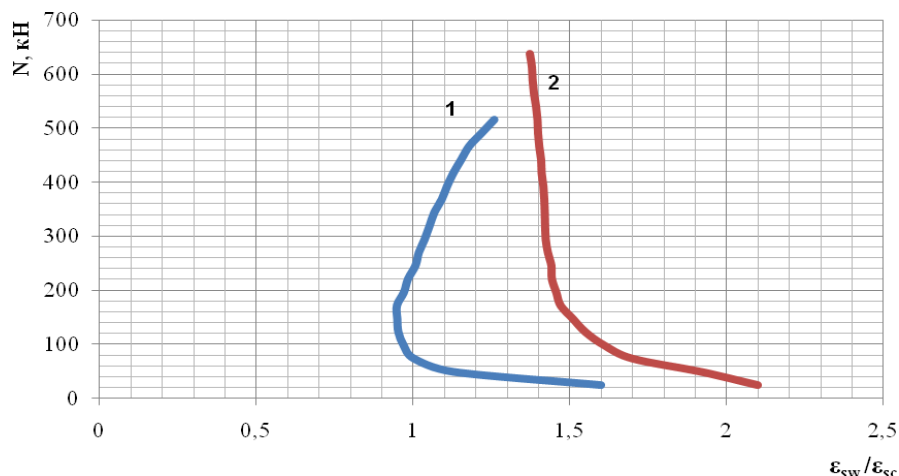


Рис. 2. Зависимость  $N - \epsilon_{sw}$  для элементов:  
1 – усиленный с помощью СУБ, 2 – усиленный с помощью ССФБ



**Рис. 3. Зависимость  $N - \epsilon_{sw}/\epsilon_{sc}$  для элементов:  
1 – усиленный с помощью СУБ, 2 – усиленный с помощью ССФБ**

образовываются продольные трещины по всей высоте обоймы.

Как видно из диаграммы  $N - \frac{\epsilon_{sw}}{\epsilon_{sc}}$  (рис. 3), в элементах, усиленных обоймами с использованием самоуплотняющегося сталефибробетона, с увеличением нагрузки на испытываемый образец, ССФБ деформируется упруго, в то время как деформации обойм из СУБ становятся пластическими. Исходя из рис. 3 можно предположить, что эффект обоймы для элементов с использованием ССФБ выше за счет лучшего сцепления бетонного камня со стальной волновой латунированной фиброй. Стальная фибра и СУБ образуют скелет, который очень хорошо сопротивляется продольной нагрузке, а также позволяет включить обойму в работу на самом раннем этапе.

Как отмечалось в исследованиях [9], адгезионная обмазка позволяет включать обойму в работу с элементом. Достоинством применения обойм из ССФБ является то, что:

- 1) существенно повышается несущая способность системы элемент-обойма (см. таблицу);
- 2) увеличивается деформативность элементов;
- 3) увеличивается сцепление обоймы и усиливаемого элемента;
- 4) исключается трудоемкость на устройство слоя из адгезионной обмазки. Обоймы из ССФБ более просты в изготовлении.

Таким образом, проведенные исследования подтверждают ранее полученные экспериментальные данные о существенном увеличении несущей способности сжатых железобетонных элементов за счет эффекта обоймы, а также увеличении деформативности. Ключевым преимуществом является то, что ССФБ включает обойму на ранней стадии нагружения, о чем свидетельствует рис. 3. Рекомендуется использовать условие прочности (1) для определения несущей способности сжатых элементов, усиленных обоймами круглого сечения с

использованием самоуплотняющегося сталефибробетона.

## Литература

1. Теряник, В.В. Прочность, устойчивость и деформативность железобетонных колонн, усиление обоймами / В.В. Теряник // Челябинск: Южно-Уральское книжное издательство, 2004. – 188 с.
2. СП 63.13330.2012. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. – М.: ФГУП НИЦ «Строительство» Росстроя, 2012. – 161 с.
3. СП 52-104-2006\*. Сталефибробетонные конструкции. – М.: ОАО НИЦ «Строительство». 2010. – 67 с.
4. Кришан, А.Л. Предложения по расчету прочности трубобетонных колонн / А.Л. Кришан, Е.А. Трошкина, А.В. Кузьмин // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. – 2011. – № 1. – С. 66–69.
5. Теряник, В.В. Сопротивление сжатых усиленных элементов железобетонных конструкций действию продольных сил / В.В. Теряник // Изв. вузов. Сер. «Строительство». – 2003. – № 4. – С. 128–132.
6. Поднебесов, П.Г. О некоторых результатах экспериментальных исследований прочности и деформативности сжатых усиленных элементов обоймами с использованием самоуплотняющегося сталефибробетона / П.Г. Поднебесов, В.В. Теряник // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2014. – Т. 14, № 4. – С. 31–33.
7. Поднебесов, П.Г. Внецентренно сжатые колонны, усиленные обоймами из самоуплотняющегося сталефибробетона / П.Г. Поднебесов, В.В. Теряник // Бетон и железобетон. – 2015. – № 3. – С. 7–10.
8. Поднебесов, П.Г. Испытания внецентренно сжатых железобетонных элементов, усилен-

ных обоями с использованием самоуплотняющегося сталефибробетона / П.Г. Поднебесов, В.В. Теряник // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2016. – Т. 16, № 1. – С. 5–11.

9. Теряник, В.В. Испытания внецентренно сжатых элементов, усиленных с использованием полимерного клея / В.В. Теряник, А.О. Борисов // Жилищное строительство. – 2010. – № 8. – С. 43–45.

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

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

Поступила в редакцию 6 июня 2016 г.

DOI: 10.14529/build160304

## RESISTANCE OF COMPRESSION ELEMENTS STRENGTHENED WITH HOOPS MADE OF SELF-COMPACTING FIBER CONCRETE TO STRESSES ARISING FROM BENDING AND AXIAL LOADING

P.G. Podnebesov, p.podnebesov@gmail.com

V.V. Teryanik, tsp@tltsu.ru

Togliatti State University, Togliatti, Russian Federation

The results of the experimental study of the influence of the type of concrete in the hoop on the strength and deformability of compressed reinforced elements, tested on axial compression, are given. It is shown that the capacity of reinforced elements increases due to the hoop effect. A method of calculating reinforced elements subject to triaxial stress in round cross-section hoops is given.

*Keywords: self-compacting steel fiber concrete, eccentricity, hoop, fibre, hybrid reinforcement.*

### References

1. Teryanik V.V. *Prochnost', ustoychivost' i deformativnost' zhelezobetonnykh kolonn, usilenie oboymami* [Durability, Stability and Deformability of Reinforce Concrete Columns, Strengthening by Jacketing Constructions]. Chelyabinsk, Southern Ural Book publ., 2004. 188 p.
2. SP 63.13330.2012. *Betonnnye i zhelezobetonnye konstruksii. Osnovnye polozheniya* [Construction rules 63.13330.2012. Concrete and Reinforced Concrete Constructions. Design Requirements]. Moscow, Rosstroy Federal State Unitary Enterprise Research Center "Stroitelstvo" Publ., 2012, 161 p.
3. SP 52-104-2006\*. *Stalefibrobetonnye konstruksii* [Construction rules 52-104-2006\*. Steel Fibre Reinforced Concrete Structures Design]. Moscow, Open Joint Stock Company "Stroitelstvo" Publ., 2010, 67 p.
4. Krishan A.L., Troshkina E.A., Kuz'min A.V. [Offers on Calculation of Durability Trubobetonnykh of Columns] *Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University*, no. 1, pp. 66–69 (in Russ.).
5. Teryanik V.V. [Resistance of the Squeezed Strengthened Ferroconcrete Designs to Action of Longitudinal Forces] *Izvestiya Vuzov Ser. Stroitel'stvo* [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 2003, no. 4, pp. 128–132 (in Russ.).
6. Podnebesov P.G., Teryanik V.V. [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]. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction Engineering and Architecture*, 2014, vol. 14, no. 4, pp. 31–33 (in Russ.).
7. Podnebesov P.G., Teryanik V.V. [Non-Central Compressed Columns Strengthened by Caging Constructions by Self-Consolidating Steel Fiber Concrete]. *Beton i zhelezobeton* [Concrete and Reinforce Concrete], 2015, no. 3, pp. 7–10 (in Russ.).

## Теория расчета строительных конструкций

---

8. Podnebesov P.G., Teryanik V.V. Tests of Eccentrically Compressed Reinforced Concrete Elements Strengthened by Cases Using Self-Compacting Steel Fiber Concrete. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction Engineering and Architecture*, 2016, vol. 16, no. 1, pp. 5–11 (in Russ.).

9. Borisov A.O., Teryanik V.V. [Tests It is Non-Central the Squeezed Elements Strengthened with Use of Polymeric Glue]. *Zhilishchnoe stroitel'stvo* [Housing Construction], 2010, no. 8, pp. 43–45 (in Russ.).

*Received 6 June 2016*

---

### ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Поднебесов, П.Г. Сопротивление сжатых элементов, усиленных обоймами с использованием самоуплотняющегося сталефибробетона, действию продольных сил / П.Г. Поднебесов, В.В. Теряник // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2016. – Т. 16, № 3. – С. 26–30. DOI: 10.14529/build160304

### FOR CITATION

Podnebesov P.G., Teryanik V.V. Resistance of Compression Elements Strengthened with Hoops Made of Self-Compacting Fiber Concrete to Stresses Arising From Bending and Axial Loading. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction Engineering and Architecture*. 2016, vol. 16, no. 3, pp. 26–30. (in Russ.). DOI: 10.14529/build160304

---