

ИСПЫТАНИЯ ВНЕЦЕНТРЕННО СЖАТЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ, УСИЛЕННЫХ ОБОЙМАМИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ САМОУПЛОТНЯЮЩЕГОСЯ СТАЛЕФИБРОБЕТОНА

П.Г. Поднебесов, В.В. Теряник

Тольяттинский государственный университет, г. Тольятти

Проблема увеличения несущей способности железобетонных колонн при реконструкции зданий и сооружений различного назначения по-прежнему стоит достаточно остро. В условиях появления инновационных материалов в строительстве возникает необходимость в разработке новых конструктивных решений усиления несущих конструкций. В статье представлены результаты экспериментальных исследований по изучению влияния на прочность и деформативность сжатых усиленных элементов вида бетона в обойме и эксцентриситета приложения нагрузки.

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

Наиболее распространённым способом увеличения несущей способности сжатых элементов является усиление железобетонными обоймами [1–3].

Однако у данного метода есть ряд недостатков:

- чтобы увеличить класс бетона усиления, необходимо повышать количество цемента в бетонной смеси, что не всегда экономически выгодно;
- недостаточная прочность традиционного тяжелого бетона на изгиб, что сказывается на его хрупкости при разрушении;
- недостаточная трещиностойкость традиционного вида бетона.

В данной статье авторами предлагается использовать самоуплотняющийся сталефибробетон (ССФБ) в качестве бетона усиления сжатых железобетонных элементов. Как показал анализ литературных источников, а также лабораторный эксперимент, ССФБ является перспективным материалом в качестве бетона усиления железобетонных колонн.

В развитие работ [1, 2, 4–6], авторами статьи проведены экспериментальные исследования влияния на прочность и деформативность сжатых железобетонных колонн разновидности бетона усиления эксцентриситета приложения нагрузки.

В соответствии с нормами проектирования железобетонных элементов [9, 10] были изготовлены образцы колонн сечением 80×140 мм, высотой 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 поликарбокси-

лат концентрацией 1,5 % от массы цемента. Диаметр расплыва бетонного пятна не менее 63 см и определялся с помощью конуса Абрамса. Контроль прочности осуществлялся испытанием бетонных кубиков стандартной величины. Продольное армирование элементов: 4 стержня диаметром 8 мм АШ (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 (B500) 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 поверхности колонны очищались от пыли щетками и промывались 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.

Для простоты описания элементов приняты следующие обозначения: ЭВС – элемент на внецентренное сжатие, неусиленный. ЭВСУ – элемент на внецентренное сжатие, усиленный обоймой из самоуплотняющегося бетона. ЭВСУ (ф) – то же с обоймой из сталефибробетона.

Армирование обойм элементов ЭВСУ выполнено по аналогии с [3], в элементах ЭВСУ (ф) выполнено комбинированным:

- стержневым, по аналогии с элементами ЭВСУ;

Теория расчета строительных конструкций

– объёмным: с использованием стальной волновой латунированной фибры марки ФСВ-В-0,3/15(15×0,3).

Процент армирования выбран согласно [5] и составил 2 % фибрового волокна по объёму. Высота обойм принята равной 600 мм.

Как показали исследования [7], интенсивность роста прочности сталефибробетона с использованием высокопрочной волновой фибры 15×0,3 близка к полученной для сталефибробетона с высокопрочной фиброй с анкерами 30×0,3. Используемая в исследованиях волновая фибра ФСВ-В-0,3/15 позволила получить фибробетон с процентом армирования более 1,5 % без образования «ежей» при перемешивании.

Следует отметить, что стальная фибра вводилась в состав бетона постепенно. Вследствие использования добавки, а также постепенного введения фибры в бетонную смесь, образования комков и «ежей» не происходило; цементное тесто не скапливалось на фибре, а фибра в свою очередь равномерно распределялась по объёму сталефибробетона. К числу положительных свойств стоит отнести эффект самоуплотнения, то есть бетонная смесь не уплотнялась механическими средствами. Таким образом, была сокращена трудоёмкость изготовления железобетонных элементов.

Для предотвращения смятия в опорных частях обоймы шаг поперечных хомутов уменьшался вдвое [8].

Для измерения деформаций на продольную и поперечную арматуру наклеивались фольговые тензорезисторы КФ5П1-20-200. 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, Самарская область).

Статические испытания проведены в строительной лаборатории кафедры «Промышленное и гражданское строительство» Тольяттинского государственного университета с использованием пресса П-250 на внецентренное сжатие. Схема нагружения представлена в виде шарниров в опорных частях элементов. Нагрузка прикладывалась ступенями, равными 10 % от разрушающей нагрузки. Регистрация деформаций осуществлялась тензометрической станцией ММТС-64.01. Результаты испытаний приведены в табл. 1. Результаты испытаний опытных образцов по деформациям в обоймах представлены в табл. 2, в усиливаемых элементах – в табл. 3.

Таблица 1

Результаты испытаний опытных образцов по нагрузке

№ серии	Наименование элемента	e_0/h	Экспериментальное значение нагрузки, кН	Среднее экспериментальное значение, кН	% увеличения несущей способности
1	ЭВС 1-1	0,143	294,0	260,7	–
	ЭВС 2-1		220,5		
	ЭВС 3-1		267,5		
2	ЭВС 1-2	0,286	245,0	237,0	–
	ЭВС 2-2		220,5		
	ЭВС 3-2		245,0		
3	ЭВС 1-3	0,429	122,5	111,1	–
	ЭВС 2-3		142,1		
	ЭВС 3-3		68,6		
4	ЭВСУ 1-1	0,143	392,0	341,4	31
	ЭВСУ 2-1		294,0		
	ЭВСУ 3-1		338,1		
5	ЭВСУ 1-1ф	0,143	367,5	375,7	44
	ЭВСУ 2-1ф		343,0		
	ЭВСУ 3-1ф		416,5		
6	ЭВСУ 1-2	0,286	269,5	259,6	10
	ЭВСУ 2-2		240,1		
	ЭВСУ 3-2		269,1		
7	ЭВСУ 1-2ф	0,286	323,4	307,1	30
	ЭВСУ 2-2ф		298,9		
	ЭВСУ 3-2ф		298,9		
8	ЭВСУ 1-3	0,429	127,4	127,4	15
	ЭВСУ 2-3		137,2		
	ЭВСУ 3-3		117,6		
9	ЭВСУ 1-3ф	0,429	166,6	187,8	69
	ЭВСУ 2-3ф		171,5		
	ЭВСУ 3-3ф		225,4		

Таблица 2

Результаты испытаний опытных образцов по деформациям (в обоях)

№ п/п	Наименование элемента	e_0/h	Средние относительные деформации (поперечные)		Средние относительные деформации (продольные)	
			Сжатая зона	Растянутая зона	Сжатая зона	Растянутая зона
1	ЭВС 1-1 ЭВС 2-1 ЭВС 3-1	0,143	–	–	298×10^{-5}	320×10^{-5}
2	ЭВС 1-2 ЭВС 2-2 ЭВС 3-2	0,286	–	–	276×10^{-5}	295×10^{-5}
3	ЭВС 1-3 ЭВС 2-3 ЭВС 3-3	0,429	–	–	270×10^{-5}	282×10^{-5}
4	ЭВСУ 1-1 ЭВСУ 2-1 ЭВСУ 3-1	0,143	40×10^{-5}	101×10^{-5}	5×10^{-5}	51×10^{-5}
5	ЭВСУ 1-1ф ЭВСУ 2-1ф ЭВСУ 3-1ф	0,143	150×10^{-5}	198×10^{-5}	15×10^{-5}	76×10^{-5}
6	ЭВСУ 1-2 ЭВСУ 2-2 ЭВСУ 3-2	0,286	22×10^{-5}	121×10^{-5}	5×10^{-5}	40×10^{-5}
7	ЭВСУ 1-2ф ЭВСУ 2-2ф ЭВСУ 3-2ф	0,286	149×10^{-5}	172×10^{-5}	31×10^{-5}	52×10^{-5}
8	ЭВСУ 1-3 ЭВСУ 2-3 ЭВСУ 3-3	0,429	20×10^{-5}	78×10^{-5}	7×10^{-5}	20×10^{-5}
9	ЭВСУ 1-3ф ЭВСУ 2-3ф ЭВСУ 3-3ф	0,429	28×10^{-5}	225×10^{-5}	26×10^{-5}	27×10^{-5}

Таблица 3

Результаты испытаний опытных образцов по деформациям (в усиливаемом элементе)

№ п/п	Наименование элемента	e_0/h	Средние относительные деформации (продольные)	
			Сжатая зона	Растянутая зона
1	ЭВСУ 1-1 ЭВСУ 2-1 ЭВСУ 3-1	0,143	284×10^{-5}	335×10^{-5}
2	ЭВСУ 1-1ф ЭВСУ 2-1ф ЭВСУ 3-1ф	0,143	315×10^{-5}	356×10^{-5}
3	ЭВСУ 1-2 ЭВСУ 2-2 ЭВСУ 3-2	0,286	280×10^{-5}	302×10^{-5}
4	ЭВСУ 1-2ф ЭВСУ 2-2ф ЭВСУ 3-2ф	0,286	266×10^{-5}	298×10^{-5}
5	ЭВСУ 1-3 ЭВСУ 2-3 ЭВСУ 3-3	0,429	277×10^{-5}	295×10^{-5}
6	ЭВСУ 1-3ф ЭВСУ 2-3ф ЭВСУ 3-3ф	0,429	271×10^{-5}	284×10^{-5}

Некоторые результаты экспериментальных исследований представлены на рис. 1 и 2.

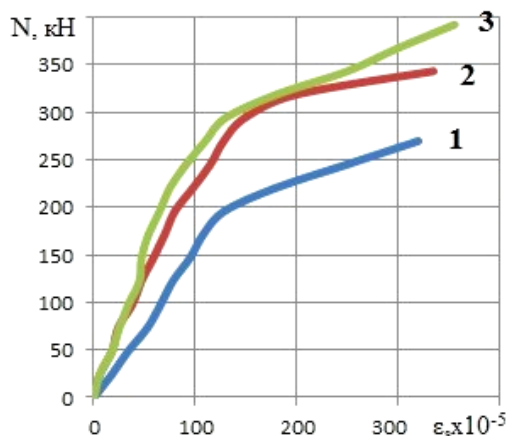


Рис. 1. Зависимость $N-\varepsilon_s$ для элементов: 1 – без усиления; 2 – усиление при помощи СУБ; 3 – усиление при помощи ССФБ

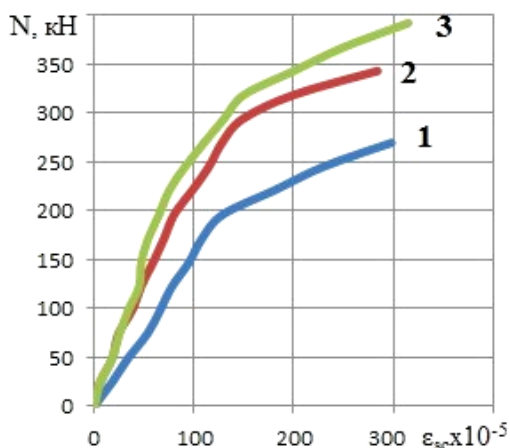


Рис. 2. Зависимость $N-\varepsilon_{sc}$ для элементов: 1 – без усиления; 2 – усиление при помощи СУБ; 3 – усиление при помощи ССФБ

Прочность и деформативность усиленных колонн при $e_0/h = 0,143$

Неусиленные элементы разрушались с образованием поперечных трещин и отколом бетона в середине сжатой зоны. Значение разрушающей нагрузки составило в среднем 260,7 кН. При достижении разрушающей нагрузки элемент полностью терял несущую способность.

Разрушение внецентренно сжатых элементов при $e_0/h = 0,143$, усиленных обоймами с использованием различных видов бетона усиления, происходило по обойме. В колоннах, усиленных самоуплотняющимся бетоном ЭВСУ значение разрушающей нагрузки составило в среднем 341,4 кН, а в образцах, усиленных самоуплотняющимся сталефибробетоном, – 375,7 кН.

Отмечено увеличение несущей способности усиленных элементов за счет эффекта обоймы.

Прочность и деформативность усиленных колонн при $e_0/h = 0,286$

Неусиленные элементы разрушались с образованием поперечных трещин и отколом бетона в нижней трети сжатой зоны. Значение разрушающей нагрузки составило в среднем 237,0 кН. При достижении разрушающей нагрузки элемент полностью терял несущую способность.

Разрушение внецентренно сжатых элементов при $e_0/h = 0,286$, усиленных обоймами с использованием различных видов бетона усиления, происходило по обойме. При этом в растянутой зоне обоймы образовались поперечные трещины, а в сжатой зоне наблюдалось образование как поперечных, так и продольных трещин. В колоннах, усиленных самоуплотняющимся бетоном (ЭВСУ), значение разрушающей нагрузки составило в среднем 259,6 кН, а в образцах, усиленных самоуплотняющимся сталефибробетоном, – 307,1 кН.

Отмечено увеличение несущей способности усиленных элементов за счет эффекта обоймы.

Прочность и деформативность усиленных колонн при $e_0/h = 0,429$

Неусиленные элементы разрушались с образованием поперечных трещин и отколом бетона в нижней трети сжатой зоны. Значение разрушающей нагрузки составило в среднем 111,1 кН. При достижении разрушающей нагрузки элемент полностью терял несущую способность.

Разрушение внецентренно сжатых элементов при $e_0/h = 0,429$, усиленных обоймами с использованием различных видов бетона усиления, происходило по обойме, при этом в растянутой зоне обоймы образовались поперечные трещины, а в сжатой зоне наблюдалось образование как поперечных, так и продольных трещин. Разрушение данных образцов происходило намного быстрее, чем при других соотношениях e_0/h .

Отмечено увеличение несущей способности усиленных элементов за счет эффекта обоймы.

Элементы, усиленные при помощи СУБ, разрушались по обойме, с образованием большого количества продольных трещин в сжатой и растянутой зоне (рис. 3, а).

Элементы, усиленные с помощью ССФБ, разрушались по обойме, однако развитие трещин сдерживалось присутствием стальной волновой латунированной фибры (рис. 3, б). Таким образом, на поверхности обоймы видны лишь незначительные проявления трещинообразования.

Независимо от способа увеличения несущей способности (обойма с СУБ, ССФБ), эксцентриситет приложения нагрузки снижает эффект обоймы. Несмотря на то, что несущая способность неусиленных элементов почти одинакова, из рис. 4 видно, что даже при большом значении отношения e_0/h , разрушающая нагрузка в элементах с ССФБ наибольшая.



Рис. 3. Общий вид колонн после проведения испытаний
а – колонны ЭВСУ; б – колонны ЭВСУ (ф)

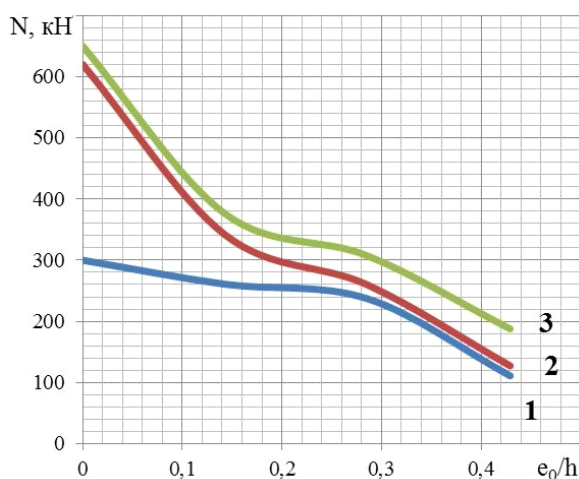


Рис. 4. Зависимость $N - e_0/h$ для железобетонных элементов: 1 – неусиленных; 2 – усиленных обоймами с использованием СУБ; 3 – усиленных обоймами с ССФБ

При большом значении e_0/h применение самоуплотняющегося сталефибробетона в обоймах позволяет добиться большей несущей способности по сравнению с неусиленными и усиленными СУБ элементами.

Выводы

1. При использовании самоуплотняющегося сталефибробетона в обоймах снижаются трудозатраты на уплотнение бетонной смеси благодаря эффекту самоуплотнения.

2. Повышается деформативность колонн.

3. Исключается хрупкое разрушение обойм: максимально длительное время сдерживается силой сцепления цементного теста со стальной волновой латунированной фиброй за счёт её анкеровки.

4. Увеличение несущей способности железобетонных колонн с применением обойм из ССФБ по сравнению с обоймами из обычного СУБ в 4,6 раза.

По результатам испытаний самоуплотняющийся сталефибробетон является наиболее выгодным материалом с точки зрения новизны и технического результата.

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

Литература

1. Теряник, В.В. Прочность и деформативность внецентренно сжатых колонн, усиленных обоймами / В.В. Теряник, В.Т. Гроздов // Изв. вузов. Сер. «Строительство и архитектура». – 1991. – № 2. – С. 7–10.
2. Теряник, В.В. Сопротивление сжатых усиленных железобетонных конструкций действию продольных сил / В.В. Теряник // Изв. вузов. Сер. «Строительство». – 2003. – № 4. – С. 128–132.
3. Теряник, В.В. Прочность, устойчивость и деформативность железобетонных колонн, усиленных обоймами / В.В. Теряник // Челябинск: Южно-Уральское книжное издательство, 2004. – 188 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. 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.
6. Поднебесов, П.Г. Внецентренно сжатые колонны, усиленные обоймами из самоуплотняющегося сталефибробетона / П.Г. Поднебесов,

Теория расчета строительных конструкций

В.В. Теряник // *Бетон и железобетон*. – 2015. – № 3. – С. 7–10.

7. Дорф, В.А. Статическая и динамическая прочность на растяжение при изгибе сталефибробетона с цементно-песчаной матрицей / В.А. Дорф, Д.Е. Капустин, И.А. Горбунов // *Бетон и железобетон*. – 2015. – № 1. – С. 5–9.

8. Пат. 2486322 Российская Федерация, E04G23/02. Элемент усиления колонны /

П.Г. Поднебесов, В.В. Теряник. – № 2011149086; заявл. 01.12.2011; опублик. 27.06.2013; Бюл. №18. – 2 с.

9. Рекомендации по усилению и ремонту строительных конструкций инженерных сооружений. ЦНИИПромзданий. – М., 2009.

10. СП 63.13330.2012. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения / ФГУП НИЦ «Строительство» Росстроя. – М., 2012. – 161 с.

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 22 октября 2015 г.

DOI: 10.14529/build160101

TESTS OF ECCENTRICALLY COMPRESSED REINFORCED CONCRETE ELEMENTS STRENGTHENED BY CASES USING SELF-COMPACTING STEEL FIBER CONCRETE

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

V.V. Teryanik, tsp@tltsu.ru

Togliatti State University, Togliatti, Russian Federation

The problem of increasing the bearing capacity of reinforced concrete columns when reconstructing buildings and structures of different purpose is still acute. In terms of introduction of innovation materials into construction there is a need for development of new construction solutions of strengthening the load-bearing structures. The paper presents the results of experimental tests of the effect on strength and deformability of compressed reinforced structures like concrete in cases and eccentricity of load application.

Keywords: self-compacting steel fiber concrete (SCSFC), eccentricity, case, fiber, hybrid reinforcement, self-compacting concrete.

References

1. Teryanik V.V., Grozdov V.T. [Durability and deformability of non-central compressed columns strengthening by caging constructions]. *Izvestiya vuzov. Seriya Stroitel'stvo i Arkhitektura* [News of higher educational institutions. Construction], 1991, no. 2, pp. 7–10. (in Russ.).

2. Teryanik V.V. [Resistance of the squeezed strengthened ferroconcrete designs to action of longitudinal forces]. *Izvestiya vuzov. Seriya Stroitel'stvo i Arkhitektura* [News of higher educational institutions. Construction], 2003, no. 4, pp. 128–132 (in Russ.).

3. Teryanik V.V. *Prochnost', ustoychivost' i deformativnost' zhelezobetonnykh kolonn, usilennykh oboymami* [Durability, stability and deformability of reinforced concrete columns, strengthening by jacketing constructions]. Chelyabinsk, Southern Ural book Publ., 2004. 188 p.

4. Podnebesov P.G., Teryanik V.V. [Peculiarities of self-consolidating steel fiber concrete using with strengthening reinforced concrete columns]. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction Engineering and Architecture*, 2014, vol. 14, no. 1, pp. 23–26. (in Russ.).

5. 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. 30–33. (in Russ.).

6. 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 reinforced concrete], 2015, no.3, pp. 7–10. (in Russ.).

7. Dorf V.A., Kapustin D.E., Gorbunov I.A. [Static and dynamic durability on stretching at a bend of a steel fiber concrete with a cement and sand matrix]. *Beton i zhelezobeton* [Concrete and reinforced concrete], 2015, no.1, pp. 5–9 (in Russ.).

8. Podnebesov P.G., Teryanik V.V. *Element usileniya kolonny* [Element of pillar reinforcement]. Patent RF, no 2486322, 2013.

9. *Rekomendatsii po usileniyu i remontu stroitel'nykh konstruksiy inzhenernykh sooruzheniy* [Recommendations about strengthening and repair of construction designs of engineering constructions]. Moscow, Central research institute of industrial buildings Publ., 2009. Available at: <http://nordoc.ru/doc/52-52971>.

10. SP 63.13330.2012. *Betonnye 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.

Received 22 October 2015

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Поднебесов, П.Г. Испытания внецентренно сжатых железобетонных элементов, усиленных обоймами с использованием самоуплотняющегося сталефибробетона / П.Г. Поднебесов, В.В. Теряник // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2016. – Т. 16, № 1. – С. 5–11. DOI: 10.14529/build160101

FOR CITATION

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.). DOI: 10.14529/build160101
