

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ КРУГЛОГО СЕЧЕНИЯ ПРИ СОВМЕСТНОМ ДЕЙСТВИИ ПРОДОЛЬНЫХ СЖИМАЮЩИХ И ПОПЕРЕЧНЫХ СИЛ

Морозов В.И., Хегай М.О.

*ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет», Санкт-Петербург, Россия (190005, г. Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4)*

Конструкции круглого сечения приобретают все большее применение в строительстве. В настоящей статье приводится экспериментальное исследование фиброжелезобетонных и железобетонных элементов круглого сечения при совместном действии продольных осевых, сжимающих и поперечных сил. Экспериментально подтверждена эффективность фибрового армирования, как предупреждение лавинообразного разрушения, повышение вязкости разрушения конструкций. Получены экспериментальные данные о напряженно-деформированном состоянии и прочности фиброжелезобетонных элементов круглого сечения в условиях поперечного изгиба и совместного действия продольных и поперечных сил, с помощью оригинальной установки, обеспечившей получение новых научных результатов, удовлетворительно согласующиеся с теоретическими положениями. Также отмечено, что добавление продольных сжимающих сил увеличивает несущую способность железобетонных и фиброжелезобетонных элементов по наклонному сечению при действии поперечных сил.

Ключевые слова: фибробетон, фибра, поперечный изгиб, круглое сечение.

## EXPERIMENTALLY, THE THEORETICAL STUDY OF BEAMS CIRCULAR UNDER THE JOINT ACTION OF THE LONGITUDINAL AND TRANSVERSE COMPRESSIVE FORCES

Morozov V.I., Khegay M.O.

*Saint-Petersburg State University of architecture and civil engineering, Saint-Petersburg, Russia (190005, Saint-Petersburg, street 2-Krasnoarmeyskaya, 4)*

Circular design are becoming increasingly used in construction. This paper presents an experimental study of fibro - reinforced concrete and concrete elements of circular cross-section under the joint action of the longitudinal axis, compressive and shear forces. Experimentally confirmed the effectiveness of fiber reinforcement as a warning of avalanche damage, increased fracture toughness designs. Experimental data on the stress-strain state and strength of fibro - concrete elements of circular cross-section in lateral bending and the joint action of the longitudinal and transverse forces, using the original installation, to provide the new scientific results are in satisfactory agreement with theoretical considerations. Also noted the addition of longitudinal compressive force increases the carrying capacity of concrete and fiber - reinforced concrete elements of an oblique section under the action of shear forces.

Keywords: fiber concrete, fiber, lateral bending, circular cross-section.

### Введение

В современном обществе всегда есть опасность разрушения конструкций от разного рода техногенных факторов, террористических угроз. В связи с этим становятся актуальными вопросы повышения вязкости разрушения элементов и предупреждения лавинообразного разрушения.

Одним из способов решения данной проблемы является дисперсное армирование бетона стальными фибрами, способное обеспечить улучшение механических характеристик материала: повысить прочность, увеличить предельную сжимаемость, растяжимость, трещиностойкость, ударопрочность и т.д. [3-7].

Все более широкое применение, в частности в многоэтажных зданиях, имеют конструкции круглого сечения, работающие с малыми эксцентриситетами. Зачастую, помимо продольных сил, на них также действуют и поперечные силы. Ранее проведенные экспериментальные исследования [1; 2] показали, что продольная сжимающая сила оказывает заметное воздействие на прочность и трещиностойкость при действии поперечных сил прямоугольных и тавровых сечений.

Вместе с тем отсутствуют данные о расчете как железобетонных, так и фиброжелезобетонных конструкций как в нормативных документах, так и в специальной литературе.

Настоящая статья посвящена экспериментальным исследованиям элементов круглого сечения при совместном действии продольной сжимающей и поперечной нагрузок.

Изготовление и испытание конструкций производилось в лаборатории кафедры железобетонных и каменных конструкций СПбГАСУ.

Для выполнения поставленной цели было изготовлено 12 образцов. Образцы были разделены на три серии в зависимости от усилия продольного обжатия, в количестве 0,1, 0,15, 0,2 от разрушающей продольной силы при центральном сжатии. Для каждой серии были изготовлены контрольные образцы из железобетона. Для определения физико-механических свойств фибробетона и бетона были изготовлены кубы размерами 100×100×100 мм и призмы размерами 400×100×100 мм.

Образцы представляли собой балки круглого сечения диаметром 200 мм и длиной 1000 мм. Армирование и геометрические размеры образцов представлены на рис. 1.

Армирование фиброжелезобетонных образцов производилось стальной проволочной фиброй «Танис» ( $l=20$ ,  $d=0,2$ ). Общий вид фибр представлен на рисунке 2. Применялся мелкозернистый бетон. Состав бетонной смеси на 1 м<sup>3</sup>: цемент – 791,4 кг, песок – 1582,8 кг, вода – 356,69 л, фибра (1%) – 85,99 кг. Содержание фибрового армирования составляет  $\mu=1\%$  на основании ранее проведенных исследований [8].

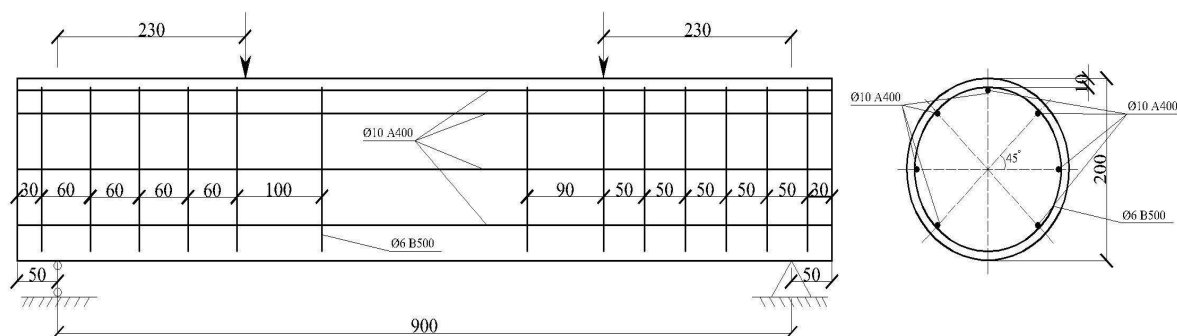


Рис. 1. Схема армирования опытных образцов

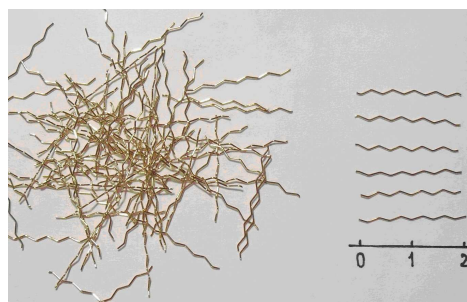


Рис. 2. Общий вид фибр «Ганис»

Бетонная смесь приготавливалась в смесителе принудительного действия объемом 20 л. Последовательность добавки компонентов принималась следующая: в смеситель загружались песок с цементом, вода и затем фибра. Формование каждого образца осуществлялось за один этап. Уплотнение смеси производилось глубинным вибратором ИВ-35-1. Образцы формовались в сборной пластиковой форме, предварительно смазанной маслом, что обеспечивало точность геометрических размеров.

Распалубка осуществлялась на 7 сутки после формования. Образцы хранились 28 суток в помещении с температурой 20...25 °С. Для предотвращения потери влаги открытые поверхности покрывались влажной ветошью и полиэтиленом.

Характеристики опытных образцов приведены в таблице 1.

Таблица 1

Серия	Шифр	Усилие обжатия (N, т)	Процент армирования стержневой арматурой ( $\mu$ , %)	Призменная прочность бетона (фибробетона) (МПа)
1	1-ФЖБ-10	10	1,26	32,2
	1-ФЖБ-10	10		
	ЖБ-8.5	8.5		
2	1-ФЖБ-14	14		32,2
	1-ФЖБ-14	14		
	ЖБ-14	14		
3	1-ФЖБ-20	20		32,2
	1-ФЖБ-20	20		
	ЖБ-20	20		

Примечание: первая цифра означает процент фибрового армирования, ФЖБ-фиброжелезобетон, последняя цифра - усилие продольного сжатия (т)

Обжатие образцов осуществлялось с применением гидравлических домкратов ГД-25 и ГД-50 до нужного результата. Для передачи усилий продольного сжатия на испытуемый образец, был изготовлен специальный стенд (рис. 3), позволяющий с помощью домкрата передать на балку продольные сжимающие усилия. Продольная сила прикладывалась по центру тяжести поперечного сечения балки до постоянного значения.

Нагружение поперечной нагрузкой производилось ступенями по 10% от ожидаемой разрушающей нагрузки. При достижении нагрузки 70% от разрушающей величина ступени уменьшалась до 5% от разрушающей нагрузки.



Рис. 3. Общий вид испытуемого образца

Качественный характер трещинообразования в образцах был идентичен образцам без продольного сжатия [8]: первые трещины возникали под точками приложения нагрузки в растянутой зоне и в зоне чистого изгиба. С увеличением нагрузки появлялись наклонные трещины у опоры, стремящиеся к точке приложения нагрузки.

Разрушение железобетонных образцов происходило по наклонному сечению и сопровождалось отколом защитного слоя растянутой зоны, вблизи опоры. В отличие от образцов без продольного сжатия [8], разрушение носило более вязкий характер, падение нагрузки пресса было значительно медленнее, чем в образцах без продольной сжимающей силы.



Рис. 4. Разрушение ФЖБ образцов  
Серии 1ФЖБ-10, 1ФЖБ-14, 1ФЖБ-20

Появление видимых трещин у фиброжелезобетонных образцов наблюдалось при 0,4 от разрушающей нагрузки. Слышалось характерное потрескивание, которое было обусловлено выдергиванием фибр из тела бетона. При достижении разрушающей нагрузки следовало плавное падение нагрузки до 70-80% от разрушающей. Все образцы разрушились при раскрытии наклонной трещины и раздроблении бетона сжатой зоны (рис. 4).

На рисунке 5 представлена зависимость предельной поперечной силы от продольных усилий сжатия.

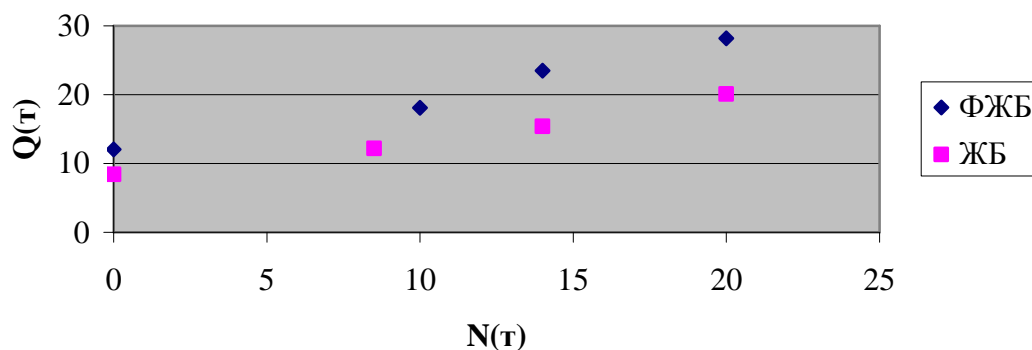


Рис. 5. Зависимость предельной поперечной силы (Q) от усилий продольного сжатия (N) на образцах из фиброжелезобетона (ФЖБ) и железобетона (ЖБ)

При добавлении сжимающих сил наблюдалось увеличение несущей способности по наклонному сечению. Для железобетонного образца прочность повысилась в 1,5, 1,87, 2,39 раза при обжатии усилием 8,5, 10, 20 тонн соответственно. Для фибробетонного образца

прочность повысилась в 1,5, 1,95, 2,34 раза при обжатии усилием 10, 14, 20 тонн соответственно.

Из проведенных исследований можно сделать следующие выводы.

1. Добавление продольных осевых, сжимающих сил увеличивает несущую способность железобетонных и фиброжелезобетонных элементов по наклонному сечению при действии поперечных сил.
2. Количественное влияние продольной силы для железобетонных и фиброжелезобетонных образцов было практически одинаковым.
3. Фибровое армирование меняет характер разрушения и трещинообразования образцов. Разрушение становилось более вязким. Количество трещин в фиброжелезобетонных образцах было существенно выше, чем в образцах из железобетона.

### Список литературы

1. Балдин С.В. Прочность и трещиностойкость железобетонных элементов при совместном действии изгибающих моментов, продольных и поперечных сил от статического и кратковременного динамического нагружения : автореф. дис. ... канд. наук; ТГАСУ. – Томск, 2013.
2. Залесов А.С., Маилян Р.Л., Шеина С.Г. Влияние продольных сжимающих сил на прочность сжато-изогнутых элементов по наклонным сечениям // Бетон и железобетон. - 1989. - № 2. - С. 35-36.
3. Куликов А.Н. Экспериментально-теоретические исследования свойств фибробетона при безградиентном напряженном состоянии в кратковременных испытаниях : автореф. дис. ... канд. техн. наук; ЛИСИ. – Л., 1974. – 22 с.
4. Морозов В.И. Фиброжелезобетонные конструкции с высокопрочной арматурой / В.И. Морозов, Ю.В. Пухаренко // Промышленное и гражданское строительство. - 2007. - № 1. - С. 45-46.
5. Morozov V. and J. Pucharenko, Nuclear Reactor Shells of Heavy Ferrocoment. World Applied Sciences Journak 23 (Problems of Architecture and Construction). - 2013.23.Pac. 90007. – P. 31-36.
6. Морозов В.И. Исследования фиброжелезобетонных колон с высокопрочной арматурой / В.И. Морозов, А.О. Хегай // Вестник гражданских инженеров. – 2011. – № 3 (28). – С. 34-37.
7. Пухаренко Ю.В. О вязкости разрушения фибробетона / Ю.В. Пухаренко, В.Ю. Голубев // Вестник гражданских инженеров. – 2008. – № 3 (16). – С. 80-83.

8. Хегай М.О. Напряженно-деформированное состояние фиброжелезобетонных элементов круглого сечения при действии поперечных сил // Вестник гражданских инженеров. – 2013. – № 4 (39). – С. 34-37.

**Рецензенты:**

Веселов А.А., д.т.н., профессор кафедры железобетонных и каменных конструкций ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет», г.Санкт-Петербург.

Белов В.В., д.т.н., профессор кафедры «Строительная механика и строительные конструкции» ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет», г.Санкт-Петербург.