



Вандоловский С. С.



Юнис Башир



Костюк Т. А.

**Вандоловский С.С.,**

Харьковский национальный университет строительства и архитектуры (ХНУСА), ул. Сумская, 40, г. Харьков, 61002, e-mail: wandolovskiy@gmail.com, +38 (093) 6610494, +38 (063) 2400876,

**Юнис Башир, к.т.н.,**

доцент кафедры строительной механики, Харьковский национальный университет строительства и архитектуры (ХНУСА), ул. Сумская, 40, г. Харьков, 61002, e-mail: docbasheer01@gmail.com, +38 (093) 661-04-94, +38 (063) 2400876,

**Костюк Т.А.,**

Харьковский национальный университет строительства и архитектуры (ХНУСА), ул. Сумская, 40, г. Харьков, 61002, e-mail: takostuk@ukr.net, +38 (093) 6610494, +38 (063) 2400876

**Vandolovskyi Stanislav, Ph.D, student,**

Kharkiv National University of Construction and Architecture, Str. Sumy, 40, Kharkov, 61002, e-mail: wandolovskiy@gmail.com, +38 (093) 661-04-94, +38 (063) 2400876,

**Basheer N. Younis., Ph. D., asst.prof.,**

assistant professor of structural mechanics Department, Kharkiv National University of Construction and Architecture, Str. Sumy, 40, Kharkov, 61002, e-mail: docbasheer01@gmail.com, +38 (093) 6610494, +38 (063) 2400876,

**Kostiuk T.A. Michael, Doctor of science,**

Kharkiv National University of Construction and Architecture, Str. Sumy, 40, Kharkov, 61002 e-mail: takostuk@ukr.net, +38 (093) 6610494, +38 (063) 2400876

## ПОВЫШЕНИЕ ПРОЧНОСТИ СТАЛЕФИБРОБЕТОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ПУТЕМ ПОВЫШЕНИЯ ПЛОЩАДИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ СО СТАЛЬНЫМИ КОМПОНЕНТАМИ

### ПІДВИЩЕННЯ МІЦНОСТІ СТАЛЕФІБРОБЕТОННИХ МАТЕРІАЛІВ ШЛЯХОМ ПІДВИЩЕННЯ ПЛОЩІ ВЗАЄМОДІЇ ЦЕМЕНТНОГО КАМЕНЮ ЗІ СТАЛЕВИМИ КОМПОНЕНТАМИ

### INCREASING OF STEEL FIBER-CONCRETE STRENGTH BY INCREASING THE SURFACE AREA OF THE CEMENT STONE WITH STEEL COMPONENTS

**Анотация.** Установлено, что введение в бетон стального порошка повышает прочность на 30-40%.

Использование фибр диаметром 0.24 мм со стальным порошком обеспечивает прочность ЖБ на растяжение до 43 МПа.

**Ключевые слова:** сталефибробетон, прочность, мелкозернистый бетон, стальной порошок, фибра.

**Анотація.** Встановлено, що введення в бетон сталевих порошків підвищує міцність на 30-40%.

Використання фібр діаметром 0,24 мм зі сталевим порошком забезпечує міцність ЖБ на розтяг до 43 МПа.

**Ключові слова:** сталефібробетон, міцність, дрібнозернистий бетон, сталевий порошок, фібра.

**Annotation.** It is shown, that adding of steel powder increase strength to 30- 40%.

Utilization of fibers with diameter 0.24 mm and steel powder achieves tensile strength of concrete to 43 MPa.

**Keywords:** steel fiber concrete, strength, fine-grained concrete, steel powder.

#### Введение

Бетон занимает первое место среди строительных материалов современности. Но поскольку он имеет малую прочность на растяжение и изгиб, его прочность усиливают введением стальной арматуры, создавая композиционный материал (КМ) – железобетон. В последнее время значительное внимание уделяют относительно новому материалу – фибробетону, который является КМ нового поколения [1,5]. Фибробетон является перспективным материалом для применения в строительстве аэродромного покрытия, труб, покрытия кровель, элементов опалубки, корпусов судов и отделки тоннелей. [5]

#### Цели и задачи исследования

Повышение совместной работы стальных фибр с цементной матрицей, которая соединяет армирующие волокна. Известно [2,4], что прочность на растяжение сталефибробетона зависит от диаметра (d) фибры и увеличивается по мере уменьшения d. Слой цементного камня, окружающего стальной стержень, имеет повышенный модуль упругости (E), но имеет ограниченную толщину (5 – 15 мкм). Между этим слоем и поверхностью арматурной стали возникает касательное напряжение  $\tau_0$ , которое усиливает сцепление между арматурой и цементной матрицей. Возникает необходимость увеличения поверхности соприкосновения.

#### Научная гипотеза

Повышение объема новообразований в цементном камне, в котором под воздействием энергии поверхности стали образуются более плотные вещества с увеличенным показателем модуля упругости, достигается внесением в цементное тесто стального порошка.

#### Методы исследования

Из мелкозернистого бетона состава 1:3 изготавливали образцы-балочки 4x4x16 мм, которые испытывали на прочность (при растяжении, при изгибе и сжатии) на приборе Михалыса. Дополнительно в бетонную смесь вводили стальной порошок, полученный, как отходы обработки стальных изделий шлифовальной машинкой («болгаркой») с размером частиц 0.01 – 0.025 мм. Количество порошка принята по массе 10, 15 ... 50% относительно массы цемента. Цемент М500 «Балцем». Прочность при растяжении определяли на образцах-восьмерках. В качестве фибры использовали обрезки стальных тросов, из которых выделяли отдельные нити, которые обрабатывали ацетоном для удаления масляной смазки.

#### Результаты исследований

Показатели прочности бетона и влияние количества введенного стального порошка приведены на графике (рис.1).

В.Н. Выровым показано, что в композиционных материалах значительную роль играет зона контакта различных составляющих КМ [1]. Установлено, что повышение прочности сталефибробетона возможно за счет повышения площади контакта между поверхностью цементного камня и стальной составляющей этого КМ. Появление в зоне этого контакта новообразований с повышенными показателями модуля упругости и касательных напряжений является посылкой для расширения зоны контакта, а именно, введение дисперсной фазы с развитой удельной поверхностью. Предложенное введение стального порошка в бетонную смесь, увеличивает плоскость зоны контакта и приводит к повышению прочности на растяжение. Прочность фибробетонных образцов на растяжение при добавлении стального порошка в 1,5 раза выше по сравнению с фибробетоном без добавления стального порошка (табл.1). Максимальная прочность на 28 суток (33,2 МПа) достигнута при 20% добавленного стального порошка. Прочность на растяжение при изгибе (12,46 МПа) – при добавлении 30%. Основной вывод – добавление стального порошка в мелкозернистый бетон позволяет повысить прочность на растяжение в 2,5 раза с 5,0 МПа до 12,5 МПа (в возрасте 28 суток), прочность на сжатие менее чувствительна и повышается только на 50%.

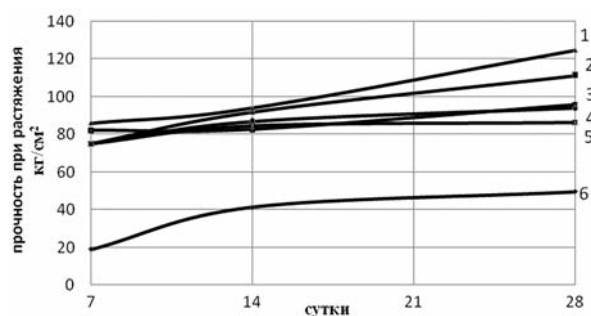


Рис. 1. Зависимость прочности при изгибе КМ от количества внесенного стального порошка и возраста образца. Количество: 1 – 20%; 2 – 30%; 3 – 40%; 4-15%; 5- 10%; 6 – контрольный, без порошка.

Поскольку основной целью исследования является повышение сопротивления изделий из бетона растягивающим нагрузкам, то количество введенного в состав КМ стального порошка в пределах 20-30% можно считать оптимальным для изготовления фибробетона. С целью проверки положительного влияния стального порошка на качество армированного бетона были изготовлены образцы-восьмерки. Результаты определения прочности приведены в табл. 2.

Таблица 1.

Прочность бетонных образцов с добавлением стального порошка (ПЖ)

№ образца	Масса цемента, г	Масса песка, г	Масса порошка, г (% от массы цемента)	Возраст образца, сутки	Прочность образца, МПа		
					сжатие	изгиб	Примечание
1	167	500	-	7	15.2	1.9	Контрольный
2	167	500	-	14	20.0	4.125	Контрольный
3	167	500	-	28	21.2	4.957	Контрольный
4	167	500	33.4 (20)	7	23.2	7.5	
5	167	500	33.4 (20)	14	26.8	9.18	
6	167	500	33.4 (20)	28	33.2	11.1	
7	167	500	50.1 (30)	7	22.8	8.6	
8	167	500	50.1 (30)	14	25.2	9.375	
9	167	500	50.1 (30)	28	30.2	12.46	
10	167	500	66.8 (40)	7	21.2	8.2	
11	167	500	66.8 (40)	14	24.4	8.25	
12	167	500	66.8 (40)	28	28.7	9.558	

Таблица 2.

Прочность при растяжении сталефибробетона

№ образца	В / Ц	Стальной порошок, г (%)	d Фибры и ее количество мм (г)	Прочность при растяжении, МПа	Примечание
1	0,4	20 (20)	0,24 (2)	43,30	
2	0,4	-	0,24	28,10	
3	0,27	-	0,28	47,50	Данные Тобольского Цепенюка
4	0,27	-	0,50	42,40	
5	0,27	-	0,70	25,10	

#### Литература:

1. Выровой В.Н. Композиционные строительные материалы и конструкции. Структура, самоорганизация, свойства / В.Н. Выровой, В.С. Дорофеев, В.Г. Суханов. – Одесса: ТЭС, 2010. – 163 с.
2. Костюк Т.О., Вандоловський С.С. Структура сталебетонних матеріалів. Аналіз взаємодії між елементами композиту / Науковий вісник будівництва. – Харків: №2, 2016. – с. 242-245.
3. Холмянский М.М. Теория сцепления арматуры с бетоном. / Б и ЖБ. – №2 1968. – с. 10-18.
4. Тобольский Г.Ф., Цепенюк И.Ф. Пространственное армирование песчаных бетонов высокопрочной проволокой малых диаметров. / Известия ВУЗов, стр. и арх. – №7, 1964. –с.42-49.
5. Гвоздев А.А. Состояние задачи исследования сцепления арматуры с бетоном. / Б и ЖБ. – №12. – с.1-4.