

## Экспериментальные исследования полиармированного фибробетона

*Е.Е. Чупрова<sup>1</sup>, А.О. Хегай<sup>2</sup>, Т.С. Хегай<sup>2</sup>, О.Н. Хегай<sup>3</sup>*

*<sup>1</sup>ООО «Газспецстрой»*

*<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет*

*<sup>3</sup>Хакасский государственный университет им. Н.Ф. Катанова*

**Аннотация:** В рамках данной статьи представлены экспериментальные исследования бетона, армированного полипропиленовой фиброй двух геометрических размеров 6мм и 12 мм. Исследования проводились на образцах кубах 10×10×10 см и образцах призмах 10×10×40 см. Всего было испытано более 100 образцов. Задачи экспериментального исследования: испытания фибробетонных образцов на сжатие, анализировать полученных результатов, выявление изменения прочностных и деформативных характеристик в результате фибрового армирования. Испытания образцов показали увеличение прочности до 20%, а также влияние процента фибрового армирования на прочностные свойства. Был определен предельный процент фибрового армирования, при превышении которого происходит снижение прочностных свойств.

**Ключевые слова:** полиармированный фибробетон, фибробетон, низко модульная фибра, полипропилен, прочностные свойства.

Актуальный вопрос долговечности железобетонных конструкций – повышение трещиностойкости материала. Все большее применение в строительстве находят фибробетоны, чьим достоинством являются повышенные прочностные и деформативные характеристики материала.

Один из наиболее распространенных типов волокон является полипропиленовая фибра, обладающая рядом преимуществ: низкая стоимость, химическая стойкость, повышенная трещиностойкость и т.д. [1, 2, 3].

Фибробетон, армированный низко модульным волокном, представляет собой композитный материал, сочетающий в себе преимущества традиционного бетона и современных полимерных волокон. Этот строительный материал обладает уникальными прочностными характеристиками, которые существенно отличаются от свойств обычного бетона. Доказано, что в зависимости от вида и объема фибрового

---

армирования прочность увеличивается до 30%, а трещиностойкость в 2-3 раза [4, 5]. При этом исследователи отмечают, что высокомодульное волокно способно повысить прочность на сжатие, растяжение и трещиностойкость, низко модульное волокно в большей степени повышает на трещиностойкость конструкции [1, 6, 7].

Наиболее распространенный способ фибрового армирования это моноармирование, т.е. одним типом фибры. Как отмечают исследователи при данном способе сильно ограничено управление свойствами бетона, тогда как полиармирование, т.е. одновременное армирование несколькими видами волокон, дает возможность управлять более широким комплексом свойств в материале [8, 9, 10].

Вопросы полиармирования фибробетонов к настоящему времени изучены недостаточно, имеющаяся информация порой носит противоречивый характер. В связи с этим возникает необходимость дальнейшего изучения физико-механических характеристик полиармированных фибробетонов. В рамках данной статьи представлены экспериментальные исследования бетона, армированного полипропиленовой фиброй двух геометрических размеров 6мм и 12 мм. Исследования проводились на образцах кубах  $10 \times 10 \times 10$  см и образцах призмах  $10 \times 10 \times 40$  см. Всего было испытано более 100 образцов. Задачи экспериментального исследования: произвести испытания фибробетонных образцов на сжатие, проанализировать полученные результаты, выявить изменения прочностных и деформативных характеристик в результате фибрового армирования.

Материалы:

- в качестве вяжущего использовался портландцемент типа ЦЕМ I, класса прочности 42,5 нормально твердеющий: ЦЕМ I 42,5Н (ГОСТ 31108-2020 «Цементы общестроительные. Технические условия»);
  - песок универсальный сухой кварцевый (по ГОСТ 8736-2014);
-

- фибра полипропиленовая, длиной 6 и 12 мм. Характеристики волокна представлены в табл. 1.

Испытания проводились с использованием сервогидравлической универсальной испытательной машины серии POWERTEST U-600 (точность по нагрузке  $\pm 0,5$  %, точность по перемещению  $\pm 0,5$  %). Для измерения деформаций в образцах использовался прибор экстензометр Epsilon 3542RA.

Таблица № 1

Характеристики полипропиленовой фибры

Наименование	Полимерная (полипропиленовая)
Плотность материала, г/см <sup>3</sup>	0,9-1,19
Длина волокна, мм	6 и 12
Прочность на растяжение, МПа	4000-8400
Модуль упругости, ГПа	1,4-8,4
Удлинение при разрыве, %	10-45
Температура плавления, С°	115-260
Стойкость в среде гидратации цемента	Высокая

### Сжатие

Разрушение бетонных и фибробетонных образцов кубов происходило «классически», описанное многими авторами. Бетонные образцы разрушались хрупко, разрушенный образец имел вид двух усечённых пирамид. Несмотря на относительно короткое волокно, а также невысокий класс бетона фибробетонные образцы имели пластическое разрушение. Образец «набухал», боковые грани постепенно отслаивались. Общий вид разрушенных образцов представлен на рис. 1.

Результаты испытаний на сжатие образцов кубов представлены в табл. 2.

Из данных, представленных в таблице 2, следует:

- при увеличении процентного содержания фиброволокна в образцах кубах до 1%, максимальная прочность увеличивается до 9 %.
- при увеличении процентного содержания фиброволокна в образцах кубах до 2%, 3% максимальная прочность уменьшается на 14% и 20% соответственно.
- наилучшие прочностные показатели при 1% содержании фибры.

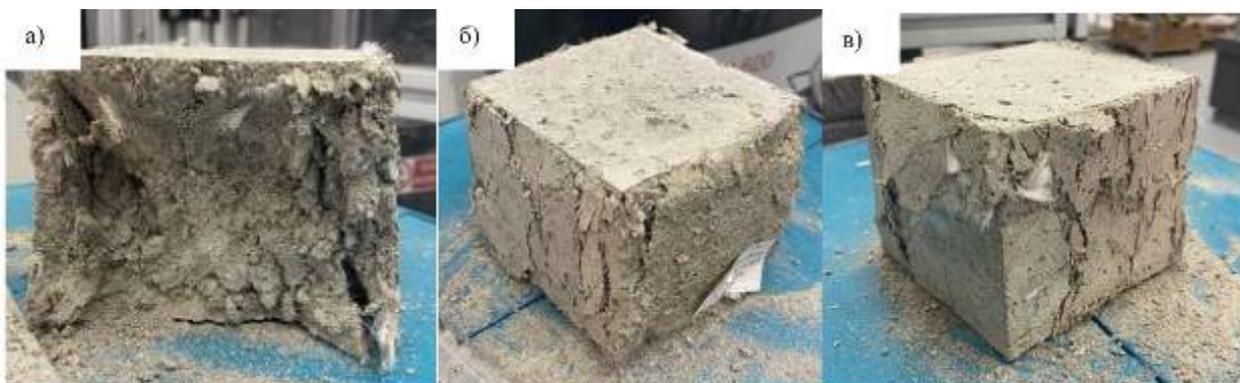


Рис. 1. Вид разрушенного полиармированного образца куба  
а) 1% фибрового армирования; б) 2% фибрового армирования; в) 3%  
фибрового армирования

Таблица № 2

Результаты испытания образцов кубов на сжатие

Содержание фибры, %	Длина фибры, мм	Разрушающая нагрузка, кН
0	–	223
1	6 и 12	244
2	6 и 12	193
3	6 и 12	179

Последующее увеличение ведет к перенасыщению бетонных образцов волокнами, это в свою очередь приводит к уменьшению прочности. Также это отражается на качестве поверхности образцов.

Разрушение призм на сжатие носило аналогичный характер (рис. 2). Бетонные призмы разрушались хрупко и образец мгновенно делился на части. Фибробетонные образцы разрушались со звуком разрывающихся волокон. Образец «набухал», и после испытания части образца были соединены фиброволокном. В контрольных образцах трещины имели вертикальный вид, в фибробетонных образцах трещины имели наклонный вид, это также отмечается у ряда исследователей [7, 9, 11]. Следует отметить внимание, что количество фибры не значительно влияли на вид разрушенного образца (рис. 3).

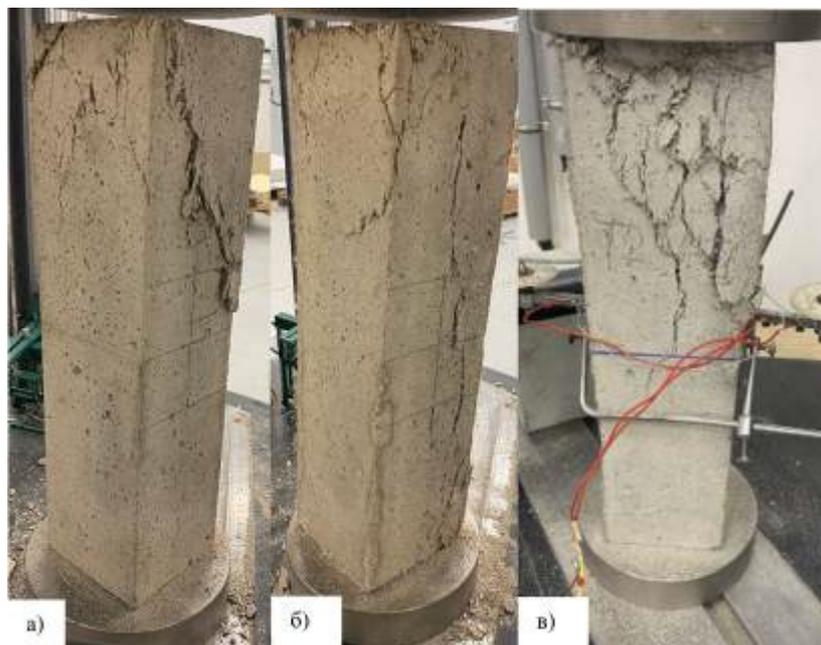


Рис. 2. Вид разрушенного полиармированного образца призмы, испытанного на сжатие

- а) 1% фибрового армирования, фибра 6мм; б) 1% фибрового армирования, фибра 12мм; в) 1% фибрового армирования, фибра 6 и 12мм.

Результаты испытания образцов призм на сжатие представлены в табл. 3, и на рис. 4.



Рис. 3. Вид разрушенного полиармированного образца призмы, испытанного на сжатие

а) 1% фибрового армирования, фибра 6 мм + 12 мм; б) 2% фибрового армирования, фибра 6 мм + 12 мм;

Таблица № 3

Результаты испытаний на сжатие образцов призм

Содержание фибры, %	Длина фибры, мм	Разрушающая нагрузка, кН
0	–	146
1	6	155
1	12	62
1	6 и 12	166
2	6	138
2	12	118
2	6 и 12	176
3	6	110
3	12	115

На основании результатов построен график зависимости разрушающей нагрузки от процента фибрового армирования (рис. 4).

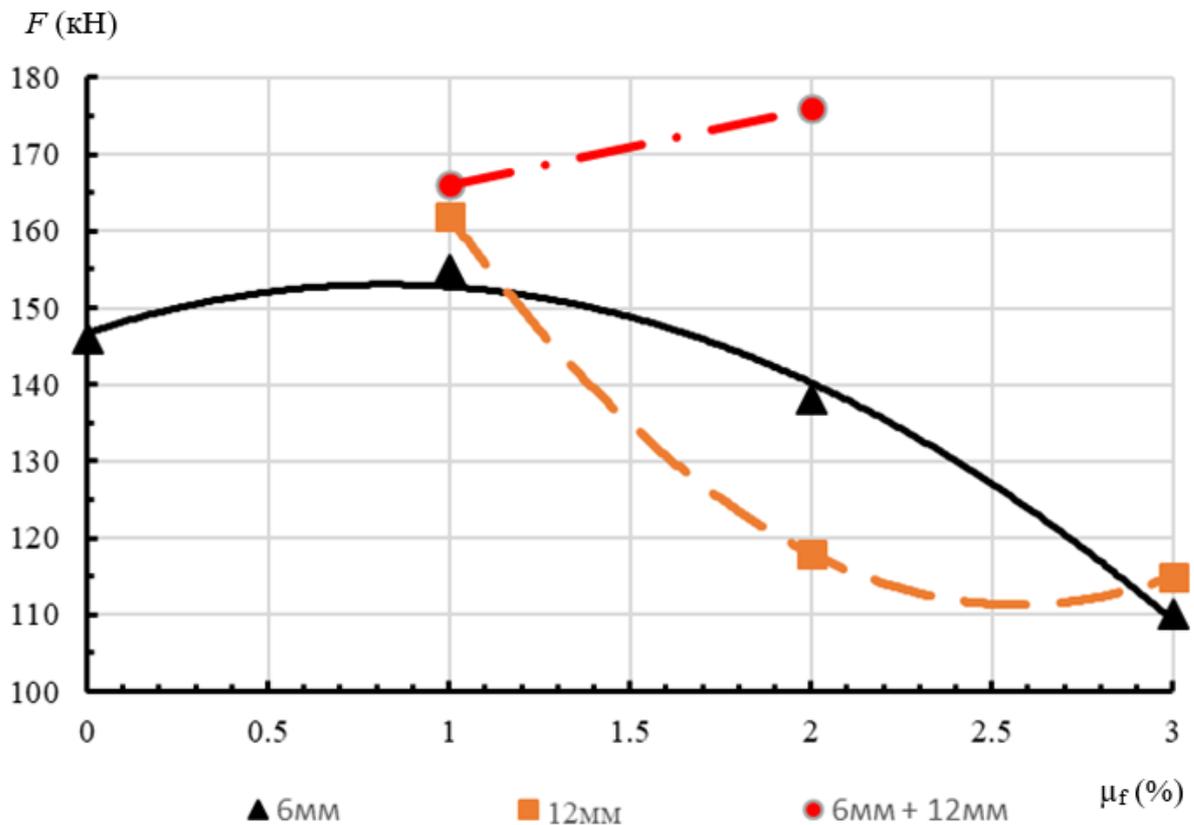


Рис. 4. Графики зависимости разрушающей нагрузки от процента армирования

На графике (рис. 4) видно, что при моноармировании предельный процент армирования составляет 1%, при превышении его наблюдается снижение прочностных свойств материал. В случае с полиармированием предельный процент достигает более высоких значений. Это объясняется механизмом работы фибр. Каждый типоразмер работает на своем уровне.

### Выводы

На основании полученных результатов можно сделать следующие выводы:

- в случае моноармирования максимальный прирост прочности наблюдается при 1% армирования. При дальнейшем увеличении кол-ва фибры происходит снижение прочностных свойств;
- в случае полиармирования наблюдается рост прочности на 13% при  $\mu_f = 1\%$  и 20% при  $\mu_f = 2\%$ .

Благодаря наличию фиброволокна в бетоне, материал приобрел повышенную пластичность по сравнению с обычным бетоном, который имеет склонность к хрупкому разрушению. После того как бетон достигает своего предела, появляются первые микротрещины, в работу включаются волокна, которые начинают работать активнее распределяя напряжения и задерживая дальнейшее разрушение. Увеличение усилия, при котором образуются первые трещины важно для эксплуатационных характеристик железобетона.

### Литература

1. Рабинович Ф.Н. Композиты на основе дисперсно армированных бетонов. Вопросы теории и проектирования, технология, конструкции. М: АСВ, 2044. 201 с.
2. Клюев А.В., Клюев С.В, Дураченко А.В., Нетребенко А.В. Мелкозернистый фибробетон армированный полипропиленовым волокном // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2014. №4. С. 67-72.
3. Боровков, А.В., Овчинникова С.В. Техничко - экономическое сравнение эффективности применения фибробетона на основе фибры различного происхождения // Инженерный вестник Дона. – 2020. – № 11. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2020/6664](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2020/6664).



4. Белоусов И.В., Шилов А.В., Меретуков З.А., Маилян Л.Д. Применение фибробетона в железобетонных конструкциях // Инженерный вестник Дона. 2017. №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4421.

5. Зотов А.Н. Исследование прочностных свойств мелкозернистых бетонов с полипропиленовой фиброй для дорожного строительства // Промышленное и гражданское строительство. 2015. №8. С. 42-46.

6. Pavlov, A. Analysis of bending steel fiber reinforced concrete elements with a stress-strain model // Architecture and Engineering. – 2020. – Vol. 5, No. 3. – pp. 14-21.

7. Хегай А.О., Кирилин Н.М., Хегай Е.О. Экспериментальные исследования прочностных свойств сталефибробетона повышенных классов // Вестник гражданских инженеров. 2019. №1(72). С. 56-60.

8. Пухаренко Ю.В., Инчик В.В., Пантелеев Д.А., Жаворонков М.И. Проектирование составов полиармированных фибробетонов // Вестник гражданских инженеров. 2018. №3(68). С. 118-122.

9. Пантелеев Д.А. Полиармированные фибробетоны с использованием аморфнометаллической фибры: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05. СПб, 2016. 22 с.

10. Батяева, Е. О. Полиармированные фибробетоны с использованием низко- и высокомодульных волокон // Серия "Строительство": Сборник статей магистрантов и аспирантов. В 2-х томах. Том 1. Выпуск 4. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2021. – С. 31-40.

11. Pukhareno Yu.V., Panteleev D.A., Zhavoronkov M.I. Modelling the behavior of fiber-reinforced concrete with low-modulus fibers under load / MATEC Web of Conferences. – 2020. – Vol. 329. – P. 04002.

## References

1. Rabinovich F.N. Kompozity na osnove dispersno armirovannyh betonov. Voprosy teorii i proektirovaniya, tehnologija, konstrukcii [Composites based on dispersed reinforced concrete. Questions of theory and design, technology, structures]. M: ASV, 2044. 201 p.
2. Kljuev A.V., Kljuev S.V, Durachenko A.V., Netrobenko A.V. Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo universiteta im. V.G. Shuhova. 2014. №4. pp. 67-72.
3. Borovkov, A.V., Ovchinnikova S.V. Inzhenernyj vestnik Dona. 2020. № 11. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2020/6664.
4. Belousov I.V., Shilov A.V., Meretukov Z.A., Mailjan L.D. Inzhenernyj vestnik Dona. 2017. №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4421
5. Zotov A.N. Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. 2015. №8. pp. 42-46.
6. Pavlov, A. Architecture and Engineering. 2020. Vol. 5, No. 3. pp. 14-21.
7. Hegaj A.O., Kirilin N.M, Hegaj E.O. Vestnik grazhdanskih inzhenerov. 2019. №1 (72). pp. 56-60.
8. Puharenko Ju.V., Inchik V.V., Panteleev D.A., Zhavoronkov M.I. Vestnik grazhdanskih inzhenerov. 2018. №3 (68). pp. 118-122.
9. Panteleev D.A. Poliarmirovannye fibrobetony s ispol'zovaniem amorfnometallicheskoj fibry [Poly reinforced fiber concrete using amorphous metal fiber]: avtoref. dis. ... kand. tehn. nauk: 05.23.05. SPb., 2016. 22 p.
10. Batjaeva, E. O. Serija "Stroitel'stvo»: Sbornik statej magistrantov i aspirantov. V 2-h tomah. Tom 1. Vypusk 4. Sankt-Peterburg: Sankt-Peterburgskij gosudarstvennyj arhitekturno-stroitel'nyj universitet, 2021. pp. 31-40.
11. Pukharenko Yu.V., Panteleev D.A., Zhavoronkov M.I. MATEC Web of Conferences. 2020. Vol. 329. P. 04002.

**Дата поступления: 4.08.2025**

**Дата публикации: 25.09.2025**