

Технико - экономическое сравнение эффективности применения фибробетона на основе фибры различного происхождения

А.В. Боровков¹, С.В. Овчинникова.²

¹*Невинномысский государственный гуманитарно-технический институт*

²*Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина*

Аннотация: В представленной статье проведено исследование физико - механических свойств мелкозернистых фибробетонов с металлическим, полипропиленовым и полиамидным волокном, с применением портландцемента, гиперпластификатора. Исследовано сопоставление характеристик прочности фибробетонов, которые произведены с применением полиамидного и полипропиленового волокна, металлической фибры. Произведено технико-экономическое сравнение эффективности применения фибры различного происхождения. Согласно расчетам стоимости, использование полиамидных волокон становится экономически выгодным, в связи с тем, что цена материалов из них ниже цены материалов фибробетона на полипропиленовом волокне.

Ключевые слова: фибробетон, гиперпластификатор, фибра, микрокремнезем, предел прочности, характер разрушения, механическое свойство, полипропиленовое волокно, полиамидное волокно, цемент, армирование, адгезия, монолитная конструкция, себестоимость.

На сегодняшний момент строительство проводится с использованием способов и методов, с помощью которых достигаются наилучшие технико - экономические показатели. Основное направление этих методов содержится в уменьшении себестоимости строительства, экономии ресурсов и облегчении технологии производства [1].

Фибру из различных материалов включают в состав бетона с целью повышения трещиностойкости бетона при усадке и циклических воздействиях. Некоторые виды волокон повышают морозостойкость, сопротивление ударным воздействиям, истиранию и разрушению бетона [2].

Важнейшая проблема фибробетона и фиброжелезобетона выражается в создании равномерного (агрегированного) распределения волокон по объему или длине элемента [3, 4].

Опытным путем было определено [5,6], что результативность дисперсного армирования бетона и цементного камня напрямую оказывается

в зависимости от трех показателей: - длины фибры l (или отношения длины фибры к ее диаметру l/d); - прочности сцепления фибры с бетоном; - объемной концентрации фибры.

Гиперпластификатор и микронаполнитель применялся для проведения исследования фибробетонов - микрокремнезем существенно уменьшает расход цемента и привносит значительные ранние прочности фибробетона.

Таблица № 1

Составы фибробетонной смеси с металлическими волокнами

Состав	Ц : П = 1:0,67			Ц : П = 1:1,43			Ц : П = 1:2		
Единица измерения	Кг/м ³								
Цемент 42,5 Н	727	705	698	566	563	566	501	499	504
Микрокремнезем	312	303	300	243	242	243	216	215	217
Песок	487	473	468	809	805	809	1002	998	1008
Вода	451	437	433	396	394	396	346	344	348
Фибра металлическая волнового профиля ФСВ-В-0,3/15	87	113	146	79	101	136	80	110	146
В/Ц	0,43	0,43	0,43	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49
Гиперпластификатор «STACHEMENT 2280»	10	10	10	6	6	6	7	6	7
Средняя плотность, кг/м ³	2076	2041	2055	2099	2111	2157	2152	2172	2230
Расплыв конуса, см	80	78	75	70	70	68	68	66	62

В ходе проведенных испытаний исследуемых образцов, было установлено, что наилучшие результаты показывают образцы фибробетона с металлической фиброй при соотношении Ц: П = 1:0,67 и при армировании в количестве 146 кг/м³. Прочность при сжатии при этом составляет 61 МПа., при изгибе – 9,1 МПа. (таблица № 2).

Таблица № 2

Пределы прочности при сжатии образцов с металлической фиброй

Возраст образцов	Состав								
	Ц : П = 1:0,67			Ц : П = 1:1,43			Ц : П = 1:2		
	Кол-во фибры, кг/м ³								
	87	113	146	79	101	136	80	110	146
Предел прочности при сжатии, МПа									
7 суток	42,7	41,6	43,3	33,8	28,5	32,3	34,7	34,3	33,3
14 суток	46,7	46	46,8	40,6	38,5	37,0	42,0	41,8	41,1
28 суток	49,9	55,5	61,0	48,9	51,3	52,7	46,8	47,4	50,1
Предел прочности при изгибе, МПа									
28 суток	7,7	8,3	9,1	7	6,8	6,7	7,3	7,7	7,9

При этом сами образцы визуально обладают признаками пластического разрушения (рис. 1). Но фибра не рвалась, что показывает ее надежное соединение с матрицей композита.

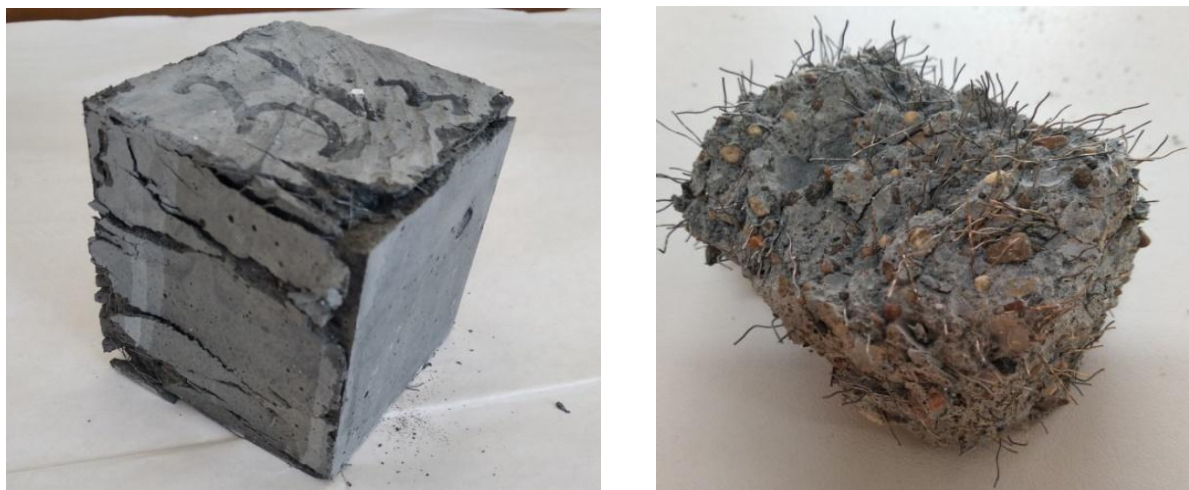


Рис. 1 – Характер разрушения фибробетона с металлической фиброй после испытания на сжатие и изгиб

Одним из типов синтетических волокон диаметром 0,02– 0,038 мм, выполненных способом резки и скручивания из полипропиленовой пленки,

является полипропиленовая фибра. Такие волокна распускаются в бетонном растворе и формируют сетчатую структуру [7], в результате чего совершенствуются качественно физико-химические показатели фибробетона и его состав. У этого материала выше, чем у неармированного бетона сопротивляемость ударным нагрузкам. К недостаткам можно отнести податливость к сжатию или растяжению, небольшую устойчивость к повышенным температурам, малую смачиваемость материала [8].

Экономически неэффективным является введение фибры в бетон более 1,1 кг/м³, помимо этого уменьшается мобильность бетонной смеси на 10 - 15%. В результате этого затрудняется качественная заливка бетона в опалубку и ее последующее уплотнение [9].

Таблица № 3

Составы фибробетонной смеси с полипропиленовым волокном

Состав	Состав			
	Ц : П = 1:1,43		Ц : П = 1:2	
Единица измерения	Кг/м ³			
Цемент 42,5 Н	578	560	490	475
Микрокремнезем	248	241	211	205
Песок	825	801	980	950
Вода	376	392	341	348
Фибра металлическая волнового профиля ФСВ-В-0,3/15	7	10	7	10
В/Ц	0,45	0,5	0,48	0,5
Гиперпластификатор «STACHEMENT 2280»	7	7	6	6
Средняя плотность, кг/м ³	2041	2011	2035	1994
Распływ конуса, см	62	63	59	60

Результаты исследований образцов на сжатие и изгиб с полипропиленовой фиброй представлены в таблице № 4.

Таблица № 4

Предел прочности при сжатии образцов с полипропиленовой фиброй

Возраст образцов	Состав			
	Ц : П = 1:1,43		Ц : П = 1:2	
	Кол-во фибры кг/м ³			
	7	10	7	10
Предел прочности при сжатии, МПа				
7 суток	37	30,9	28,5	26,4
14 суток	45,1	37,6	37,3	35,9
28 суток	52,4	47,7	46,1	45,3
Предел прочности при изгибе, МПа				
28 суток	7,9	7,2	7,1	7,0

Данные таблицы № 4 свидетельствуют о том, что максимальное значение прочности при изгибе (7,9 МПа) и сжатии в 28 суток (52,4 МПа) показывают образцы бетона с содержанием в смеси фибры в количестве 7 кг/м³ при отношении Ц: П = 1:1,43.

На рис. 2 показано разрушение в результате испытания на сжатие и изгиб с полипропиленовым фиброволокном фибробетона.

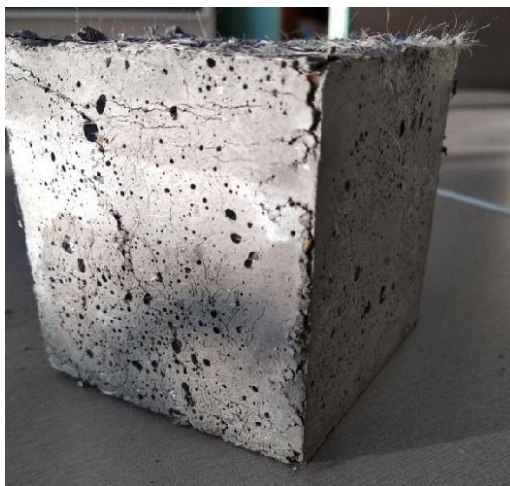


Рисунок 2 – Характер разрушения фибробетона с полипропиленовой фиброй после испытания на сжатие и изгиб

Таблица № 5

Составы фибробетонной смеси с полиамидными волокнами

Состав	Состав	
	Ц : П=1:1,39	Ц : П=1:2
Единица измерения	Кг/м ³	
Цемент 42,5 Н	739	513
Микрокремнезем	-	221
Песок	1027	1026
Вода	370	354
Фибра - полиамидные волокна	7	7
В/Ц	0,5	0,48
Гиперпластификатор «STACHEMENT 2280»	-	7
Средняя плотность, кг/м ³	2143	2128
Расплыв конуса, см	62	65

Важность исследований по использованию в качестве фибры полиамидных волокон представил осуществлённый разбор [10] эксперимента приложения органических и неорганических волокон из производственных отходов.

Итоги изучений образцов с полиамидным волокном на сжатие представлены в таблице № 6.

Таблица № 6

Предел прочности при сжатии образцов с полиамидной фиброй

Возраст образцов	Состав	
	Ц : П=1:1,39	Ц : П=1:2
	Кол-во фибры кг/м ³	
	7	7
Предел прочности при сжатии, МПа		
7 суток	26,6	33,8
14 суток	34,2	43,2
28 суток	40,2	50,3
Предел прочности при изгибе, МПа		
28 суток	6	7,5

Прочность при сжатии фибробетона с использованием полиамидных

волокон в 28-суточном возрасте вследствие экспериментов выше на 8,3% сравнительно с прочностью фибробетона на полипропиленовом волокне.

В возрасте семи суток фибробетон на полиамидном волокне набирает крепость 70% по сравнению с марочной.

На рис. 3 представлены образцы фибробетонов с полиамидными волокнами после испытания на сжатие и изгиб.



Рис. 3. – Характер разрушения фибробетона с полиамидной фиброй после испытания на сжатие и изгиб

На прочностных свойствах изучаемого фибробетона позитивно отразилось применение цемента - микрокремнезема во всех образцах как наполнителя. В результате этого уменьшился расход цемента, усилилась прочность фибробетона при сжатии и изгибе приблизительно на 20% [11].

Полиамидные волокна располагают увеличенной прочностью на разрыв и адгезией с бетоном по сравнению с полипропиленовой фиброй, что, в среднем, совершенствует контроль образования трещин ориентировочно на 50%.

По показателям проведенных изысканий можно увидеть, что из строительных материалов, доступных в данном месте: цемента, его наполнителей, песка, гиперпластификаторов на основе поликарбоксилатов и металлического или пропиленового фиброволокна можно произвести

мелкозернистые самоуплотняющиеся фибробетоны для монолитных конструкций (классом не ниже В35).

Из стоимости исходного сырья формируется себестоимость производства мелкозернистого фибробетона с использованием микрокремнезема и гиперпластификатора, с усовершенствованной упаковкой заполнителя.

Данные, при соотношении Ц: П = 1:2 от количества фибры, о стоимости и пределе прочности образцов фибробетонов с наполнителем цемента - микрокремнеземом и гиперпластификатором представлены в таблице № 7.

Таблица № 7

Данные стоимости и предела прочности образцов фибробетонов с наполнителем цемента и гиперпластификатором от количества фибры при

Ц: П = 1:2

Количество фибры, кг/м ³	Предел прочности, МПа		Стоимость, руб.
	При сжатии R _{сж}	При изгибе R _{изг}	
Ц : П = 1:2			
Металлическая фибра			
80	46,8	7,3	12 403,3
110	47,4	7,7	14 302,5
146	50,1	7,9	16 992,1
Полипропиленовая фибра			
7	46,1	7,1	8 482,2
10	45,3	7,0	9 115,4
Полиамидное волокно			
7	50,3	7,5	5 875,2

Из сопоставления себестоимости фибробетонов можно увидеть, что по свойствам фибробетон на полиамидном волокне не только не уступает, но и превосходит свойства прочности образцов фибробетона с полипропиленовым фиброволокном (в среднем на 5 – 8%). Определено, что при сжатии фибробетона на полиамидных волокнах в 28-суточном возрасте крепость на 8,3% выше по сравнению фибробетоном с использованием полипропиленового волокна.

Соответственно стоимостным расчетам экономически результативным становится применение полиамидных волокон, так как его цена на 35% ниже цены материалов фибробетона на полипропиленовом волокне.

У фибробетона с металлическим фиброволокном более высокая стоимость и высокие прочностные характеристики по сравнению с обычным бетоном. Но он, несмотря на высокую себестоимость, за счет высоких физико - механических свойств довольно популярен и очень часто применяется в строительстве для заливки фундаментов промышленных зданий под оборудование. Долговечность материала компенсирует высокую стоимость данного фибробетона.

Расход цемента при использовании микронаполнителя и гиперпластификатора на основе поликарбоксилата, при одновременном улучшении физико - механических свойств фибробетонов, уменьшается приблизительно на 20%.

Учитывая, что полиамидное волокно можно получить с помощью уменьшения себестоимости из отходов производства промышленности, не уменьшая свойств прочности, можно создать более выигрышные фибробетоны.

Своевременным заданием для последующих изысканий становится изучение результативности составов бетонов с комбинированным фибровым армированием, которое направлено на одновременную модификацию деформационных и прочностных свойств. Этот бетон можно использовать во время конструкции подземных инженерных сетей.

Литература

1. Ovchinnikova S., Kalinichenko M., Markina N., Schneider E. Energy modernization of housing stock // E3S Web of Conferences, 2020, №157. 06028.

2. Мартынов В.А. Анализ свойств фибробетонов с различными типами заполнителей // Фундаментальные и прикладные научные исследования:



инноватика в современном мире. Уфа: Общество с ограниченной ответственностью Научно-издательский центр «Вестник науки», 2020, С. 30.

3. Маилян Л.Р., Налимова А.В., Маилян А.Л., Айвазян Э.С. Челночная технология изготовления фибробетона с агрегированным распределением фибр и его конструктивные свойства // Инженерный вестник Дона, 2011, №4. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4y2011/714

4. Маилян Л.Р., Маилян А.Л., Айвазян Э.С. Конвейерная технология фибробетона с агрегированным распределением фибр и его конструктивные свойства // Инженерный вестник Дона, 2013, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1781

5. Матус, Е.П. Влияние размеров изделий на распределение волокон в дисперсно-армированных материалах // Изв. высш. учеб. заведений. Строительство. 2004, № 4, С. 37 – 42.

6. Парфенов, А.В. Ударная выносливость бетонов на основе стальной и синтетической фибры: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.23.05. Уфа, 2004, С. 19.

7. Дудов Д. О., Михайлов Д. А. Фибробетон. Фибра: Виды материалов и их классификация // Наука и образование: Сохраняя прошлое, создаём будущее. Пенза: «Наука и Просвещение», 2019, С. 49.

8. Овчинникова С.В., Присс О.Г. Исследование повреждений жилищного фонда в г. Невинномысске // Вестник СевКавГТИ, 2015, № 4 (23), С. 165-168.

9. Страданченко С.Г., Плешко М.С., Армейсков В.Н. Разработка эффективных составов фибробетона для подземного строительства // Инженерный вестник Дона, 2013, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/1995

10. Парфенова, Л.М., Качан М.С. Применение фибры в технологии бетонов // Инженерные проблемы строительства и эксплуатации сооружений: сб. науч. тр. – Новополюк: ПГУ, 2011, №3. – С. 112 – 116.

11. Beddar, M. Fiber reinforced concrete: past, present and future // Concrete and reinforced concrete-ways of development: scientific Tr. 2nd vseros. (International) Conf. on concrete and reinforced concrete: in 5 t. T. Z: Section reports, section «technology of concrete». - M.: Deepak, 2005, pp. 228-234.

References

1. Ovchinnikova S., Kalinichenko M., Markina N., Schneider E. E3S Web of Conferences, 2020, №157. 06028.

2. Martynov V.A. Fundamental'nye i prikladnye nauchnye issledovanija: innovatika v sovremennom mire. Ufa: Obshhestvo s ogranichennoj otvetstvennost'ju Nauchno-izdatel'skij centr «Vestnik nauki», 2020, P. 30.

3. Mailjan L.R., Nalimova A.V., Mailjan A.L., Ajvazjan Je.S. Inzhenernyj vestnik Dona, 2011, №4. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4y2011/714

4. Mailjan L.R., Mailjan A.L., Ajvazjan Je.S. Inzhenernyj vestnik Dona, 2013, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1781

5. Matus, E.P. Izv. vyssh. ucheb. zavedenij. Stroitel'stvo. 2004, № 4, P. 37.

6. Parfenov, A.V. Udarnaja vynoslivost' betonov na osnove stal'noj i sinteticheskoy fibry: avtoref. dis. kand. tehn. Nauk [Impact endurance of concrete based on steel and synthetic fiber: author. dis. Cand. tech. Sciences]. 05.23.05 Ufa, 2004. P. 19.

7. Dudov D. O., Mihajlov D. A. Nauka i obrazovanie: Sohranjaja proshloe, sozdajom budushhee. Penza: «Nauka i Prosveshhenie», 2019, P. 49.

8. Ovchinnikova S.V., Priss O.G. Vestnik SevKavGTI. 2015. № 4 (23), P. 165-168.

9. Stradanchenko S.G., Pleshko M.S., Armejskov V.N. Inzhenernyj vestnik Dona, 2013, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/1995

10. Parfenova, L.M., Kachan M.S. Inzhenernye problemy stroitel'stva i jekspluatacii sooruzhenij: sb. nauch. tr. Novopolock: PGU, 2011. №3, P. 112.

11. Beddar, M. Concrete and reinforced concrete-ways of development:



scientific Tr. 2nd vseros. (International) Conf. on concrete and reinforced concrete:
in 5 t. T. Z: Section reports, section «technology of concrete». M.: Deepak, 2005,
P. 228-234.