

## Прочностные характеристики мелкозернистого и тяжелого бетона, армированного базальтовой фиброй

*А.А. Мандрыгина, В.А. Шаманов*

*Пермский национальный исследовательский политехнический университет*

**Аннотация:** Представлены результаты определения предела прочности при сжатии и изгибе мелкозернистого и тяжелого бетона без добавления базальтовой фибры (контрольный состав) и с добавлением фибры 0,1-0,9% от массы цемента. Показано, что оптимальными пределами введения фибры в смесь мелкозернистого бетона могут считаться 0,1-0,2% от массы цемента, что приводит к приросту прочности при сжатии до 70%, при изгибе – до 35%. Однако введение фибры в смесь тяжелого бетона отрицательно сказывается на его прочностных характеристиках: при увеличении содержания фибры до 0,9% значение предела прочности при сжатии уменьшается до 27% по сравнению с контрольным образцом, при этом предел прочности на растяжение при изгибе увеличивается до 35%.

**Ключевые слова:** базальтовая фибра, мелкозернистый бетон, тяжелый бетон, фибробетон, непрерывное волокно, оптимизация, тепло-влажностная обработка, дисперсное армирование

Дисперсно-армированные строительные материалы и изделия в последнее время находят все более широкое применение. В частности, дисперсное армирование может применяться при изготовлении керамзитовофибробетонных колонн, сухих строительных смесей различного назначения, ячеистобетонных стеновых блоков и пр. [1, 2]. При этом в качестве дисперсной арматуры используют различные виды фибр: стальную, полипропиленовую, стеклянную и базальтовую, а также волокна из дефицитных (например, углеродных) или природных (например, целлюлозных) материалов [3].

Анализ публикаций отечественных и зарубежных ученых подтверждает эффективность введения фибры в строительные конгломераты различного состава, в том числе в тяжелые и мелкозернистые базальтофибробетоны. Однако данные разных исследователей не всегда согласуются между собой, особенно в части оптимального расхода фибры [4-8]. Это может быть связано с особенностями производства фибры, а также с

оптимизацией температурных режимов плавильных печей или с заменой основного сырья [9, 10].

На территории Пермского края в 2008 году успешно реализована технология производства непрерывного базальтового волокна (НБВ), разработанная НПО «Вулкан» [11]. Оптимизированная конструкция плавильного агрегата позволила с высокой точностью поддерживать температуру расплавленной массы как в верхней, так и в нижней частях камеры, а за счет подбора необходимой скорости вытяжки можно получать нити диаметром 9-12 мкм, которые после навивки на катушки могут отправляться потребителю для дальнейшей переработки, в том числе для изготовления базальтовой фибры.

Таким образом, учитывая особенности плавильного агрегата, узла формирования волокна, температуру плавления базальтовой крошки, не превышающую 1500 °С, определение оптимального содержания базальтовой фибры производства НПО «Вулкан» (г. Пермь) в тяжелых и мелкозернистых бетонах является актуальным.

Влияние базальтовой фибры на прочностные характеристики мелкозернистых бетонов оценивалось на образцах-балочках 40x40x160 мм, тяжелого бетона – на образцах-кубах с ребром 100 мм и образцах-балочках 100x100x400 мм, изменение подвижности смеси для мелкозернистого бетона оценивали по ГОСТ 310.4 на встряхивающем столике, для тяжелого бетона – по ГОСТ 10181. Фибру вводили в сухую смесь для мелкозернистого и тяжелого бетона в количестве 0,1, 0,2, 0,3, 0,5, 0,7, 0,9% от массы цемента с последующим тщательным перемешиванием и затворением водой. Твердение бетона осуществлялось при тепло-влажностной обработке по режиму (3+3+6+3) часа при температуре изотермической выдержки 70 °С и при нормальных условиях в течение 28 суток.

В качестве вяжущего при проведении исследований был использован портландцемент ЦЕМ I 42,5 Н ГОСТ 31108-2016 производства АО «Горнозаводскцемент» активностью 45,1 МПа; в качестве мелкого заполнителя - песок природный месторождения «Нытвенское 2», поставщик ООО «Порт-Пермь» с модулем крупности 2,3 и содержанием пылевидных, глинистых и илистых частиц не более 0,5%; в качестве крупного заполнителя был использован щебень смеси фракций 5-20 мм из плотных габбро-изверженных горных пород месторождения «Гора Змеевая» с маркой по дробимости М1400, содержанием пылевидных, глинистых и илистых частиц не более 0,4% и содержанием зерен пластинчатой (лещадной) и игольчатой формы не более 10%; в качестве дисперсной арматуры была использована базальтовая фибра длиной 6 мм и диаметром 11 мкм производства НПО «Вулкан».

Следует отметить, что расход воды для затворения бетонной смеси мелкозернистого и тяжелого бетона оставался постоянным на протяжении всего эксперимента и составлял для мелкозернистой бетонной смеси 235 кг/куб.м. (распływ конуса на встряхивающем столике 115 мм), для смеси тяжелого бетона – 180 кг/куб.м. (осадка конуса 4 см). Результаты испытаний мелкозернистого и тяжелого базальтофибробетона сведены в таблицы №1 и №2 соответственно.

Таблица №1

Результаты испытаний мелкозернистого базальтофибробетона

№ п/п	Содержание фибры, %	Предел прочности при сжатии, кгс/см <sup>2</sup>		Предел прочности при изгибе, кгс/см <sup>2</sup>		Распływ конуса, мм	Примечание
		Норм.	ТВО	Норм.	ТВО		
1	0,0	140,3	118,1	44,9	52,2	115	
2	0,1	193,8	187,1	61,7	66,3	112	
3	0,2	191,6	200,7	61,1	65,3	107	

4	0,3	114,2	116,3	57,4	58,4	105	Смесь рассыпалась
5	0,5	112	117,9	53,6	52,2	105	Смесь рассыпалась
6	0,7	107	106,9	48,5	45,8	105	
7	0,9	110,6	109,7	50	43,6	105	

Анализируя результаты испытаний мелкозернистого базальтофибробетона, следует отметить, что оптимальными пределами введения фибры в смесь мелкозернистого бетона могут считаться 0,1-0,2% от массы цемента. При этом наибольший прирост прочности при сжатии составляет 40-70% при различных условиях твердения, при изгибе – от 24 до 35%. При введении большего количества фибры смесь мелкозернистого бетона в значительной степени снижает свою удобоукладываемость, становится рыхлой и несвязной, что негативно сказывается на прочности при сжатии и, в меньшей степени, на прочности при изгибе.

Таблица №2

Результаты испытаний тяжелого бетона, армированного базальтовой фиброй

№ п/п	Содержание фибры, %	Предел прочности при сжатии, кгс/см <sup>2</sup>		Предел прочности при изгибе, кгс/см <sup>2</sup>		Уд. укл. (ОК, см, Ж, с)	Примечание
		Норм.	ТВО	Норм.	ТВО		
1	0,0	241,9	175,7	23,9	34,7	4 см	
2	0,1	221,7	163,9	28,3	36,7	2 см	
3	0,2	212,5	1518	23,8	35,3	4 с	
4	0,3	209,5	148,2	26,6	31,8	9 с	
5	0,5	201,6	151,0	30,6	33,6	22 с	
6	0,7	194,3	1521	27,5	33,2	34 с	
7	0,9	190,5	158,7	32,3	33,1	51 с	

Как видно из таблицы №2, введение в смесь фибры отрицательно сказывается на прочностных характеристиках при сжатии тяжелого бетона. При этом наблюдается снижение прочности до 25% при твердении бетона в

нормальных условиях. Прочность при изгибе с введением небольшого количества фибры (до 0,2%) возрастает до 6% при твердении бетона в условиях ТВО. В условиях нормального твердения способность сопротивляться изгибающим нагрузкам нарастает неравномерно и циклично, при этом наибольший прирост составляет 35% (по сравнению с контрольным значением) при содержании фибры в смеси 0,9%.

Таким образом, введение в бетонную смесь мелкозернистого и тяжелого бетона базальтовой фибры производства НПО «Вулкан» в количестве 0,1-0,9% от массы цемента позволяет повысить прочность на растяжение при изгибе в среднем на 35%. Примечательно, что характер изменения прочностных характеристик мелкозернистого и тяжелого базальтофибробетонов сохраняется вне зависимости от условий твердения бетона.

### Литература

1. 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](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4421).
2. Абрамян С.Г., Пиунов Е.М., Курбанов И.З. Краткий обзор научных публикаций: современный взгляд на проблему получения и применения фибробетона / Инженерный вестник Дона, 2018, №2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2018/4840](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2018/4840).
3. Сарайкина К.А, Шаманов В.А. Дисперсное армирование бетонов / Вестник ПГТУ. Урбанистика. 2011. №2. С. 70-75.
4. Сташевская Н.А., Окольников Г.Э., Асиков Д.М. Обзор и анализ исследований применения высокопрочного фибробетона для высотного строительства / Системные технологии. 2017. № 23. С. 51-55.
5. Петров И.В., Красникова Н.М., Боровских И.В. Исследование влияния стального дисперсного армирования на механические характеристики бетона

/ Сборник статей по материалам VI международной научно-практической конференции "Актуальные вопросы современной науки". Уфа: ООО "Дендра", 2017. С. 25-31.

6. Кузьмина В.П. Способ введения базальтового волокна в композитные материалы / Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал . 2011. Т. 3. № 2. С. 59-64.

7. Dong J.F., Wang Q.Y., Guan Z.W. Material properties of basalt fibre reinforced concrete made with recycled earthquake waste / Construction and Building Materials. 2017. Vol. 130. pp. 241-251.

8. Pickel D.J., West J.S., Alaskar A. Use of basalt fibers in fiber-reinforced concrete / ACI Materials Journal. 2018. Vol. 115. Iss. 6. pp. 867-876.

9. Казымов К.П., Манькова Т.В., Бражкина Т.В., Меньшикова Е.А., Исаева Г.А. Исследование сырья ООО «Вулкан» для производства непрерывного базальтового волокна / Базальтовые технологии. 2012. С. 18-20.

10. Урханова Л.А., Лхасаранов С.А., Розина В.Е., Буянтуев С.Л. Фибробетон с использованием базальтового волокна, полученного центробежно-дутьевым способом, и нанокремнезема / Научно-практическая конференция "Эффективные строительные композиты". Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2015. С. 677-681.

11. Журавлев А.И., Аликин В.Н., Матвеев С.А. Экологически эффективная технология получения непрерывного базальтового волокна / Экология и промышленность России. 2011. №10. С. 12-14.

### References

1. Belousov I.V., Shilov A.V., Meretukov Z.A., Mailyan L.D. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2017, №4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4421](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4421).

---



2. Abramyan S.G., Piunov E.M., Kurbanov I.Z. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2018, №2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2018/4840](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2018/4840).
3. Saraykina K.A., Shamanov V.A. Vestnik PGTU. Urbanistika. 2011. №2. pp. 70-75.
4. Stashevskaya N.A., Okol'nikova G.E., Asikov D.M. Sistemnye tekhnologii. 2017. № 23. pp. 51-55.
5. Petrov I.V., Krasinikova N.M., Borovskikh I.V. Sbornik statey po materialam VI mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Aktual'nye voprosy sovremennoy nauki". Ufa, 2017, pp. 25-31.
6. Kuz'mina V.P. Nanotekhnologii v stroitel'stve: nauchnyy internet-zhurnal. 2011. Vol. 3. № 2. pp. 59-64.
7. Dong J.F., Wang Q.Y., Guan Z.W. Construction and Building Materials. 2017. Vol. 130. pp. 241-251.
8. Pickel D.J., West J.S., Alaskar A. ACI Materials Journal. 2018. Vol. 115. Iss. 6. pp. 867-876.
9. Kazymov K.P., Man'kova T.V., Brazhkina T.V., Men'shikova E.A., Isaeva G.A. Bazal'tovye tekhnologii. 2012. pp. 18-20.
10. Urkhanova L.A., Lkhasaranov S.A., Rozina V.E., Buyantuev S.L. Nauchno-prakticheskaya konferentsiya "Effektivnye stroitel'nye kompozity". Belgorod, 2015, pp. 677-681.
11. Zhuravlev A.I., Alikin V.N., Matveev S.A. Ekologiya i promyshlennost' Rossii. 2011. №10. pp. 12-14.