

Влияние зернового состава и технологии на свойства мелкозернистого фибробетона с применением вулканического пепла

*Т.А. Хежсев, А.А. Карданов, И.А. Курашинов, К.А. Сижажев,
Р.Ю. Хатиуков, М.А. Гетежев, Б. Басил, А.Ф. Джаркас
Кабардино-Балкарский государственный университет, Нальчик*

Аннотация: Исследовано влияние зернового состава и технологии на свойства мелкозернистого фибробетона с применением вулканического пепла. Прочностные характеристики мелкозернистого бетона снижаются с увеличением добавки пепла в портландцемент при одновременном росте водопоглощения. Рекомендуется вводить до 10 % пепла в портландцемент по массе. Выявлено, что прочность бетона повышается с увеличением содержания крупных фракций заполнителя в результате более компактного расположения зерен песка. Увеличение содержания мелких фракций песка снижают прочностные характеристики бетона, и повышает водопоглощение. Исследована зависимость свойств мелкозернистого фибробетона от способа перемешивания смеси и формования изделий.

Ключевые слова: портландцемент, отходы камнедробления, пепел вулканический, базальтовое волокно, гранулометрический состав, мелкозернистый фибробетон, прочность на изгиб и сжатие, способ приготовления смеси, способ формования изделий.

Строительство зданий и сооружений на современном этапе требует использование бетонов, имеющих улучшенные физико-механические свойства при минимальной себестоимости. При этом актуальной задачей является обеспечение долговечности конструкций и применение местных материалов. Разработка дисперсно армированных мелкозернистых бетонов является одним из способов решения этой задачи [1-3].

Снижение себестоимости бетона возможно за счет применения промышленных отходов, при этом одновременно решаются и вопросы охраны окружающей среды [4, 5]. Кабардино-Балкарская республика имеет большие сырьевые ресурсы для получения заполнителя и активной минеральной добавки для мелкозернистого бетона. В качестве заполнителя мелкозернистого бетона могут быть использованы отходы дробления гравийно-песчаной смеси, а в качестве активной минеральной добавки –

вулканические горные породы [6, 7]. Для их эффективного применения в мелкозернистом бетоне необходимо проведение исследований.

Для этого в работе проводились исследования влияния зернового состава и технологии на свойства мелкозернистого фибробетона с применением отходов камнедробления и пепла.

Для проведения экспериментов применялись: портландцемент ПЦ500-ДО; отходы камнедробления с зернами размером до 5 мм; пепел вулканический с зернами размером до 0,14 мм; волокна базальтовые марки РНБ-9-1200-4с.

Зерновой состав заполнителя приведен в табл. 1.

Таблица 1

Песок	Частные остатки на ситах, %					Прошло сквозь сито 0,14
	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	
Отсевы дробления гравийно-песчаной смеси	13,7	13,9	26,9	27,3	14,2	4,0

Для исследования физико-механических характеристик бетона состава 1:2 изготавливались балочки размерами 4x4x16 см. Образцы формовались из смеси подвижностью 3-5 см на виброплощадке. На рис. 1 и 2 приведены результаты экспериментов.

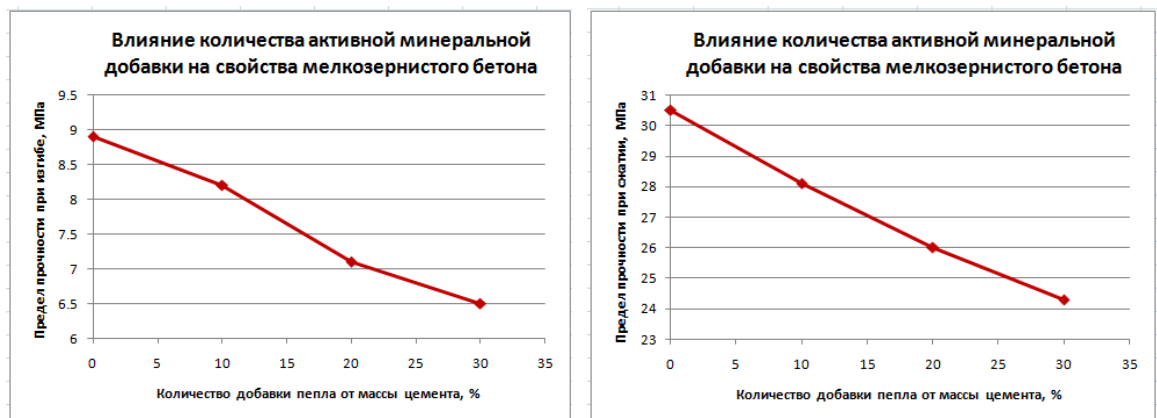


Рис. 1. Влияние добавки пепла на прочность мелкозернистого бетона

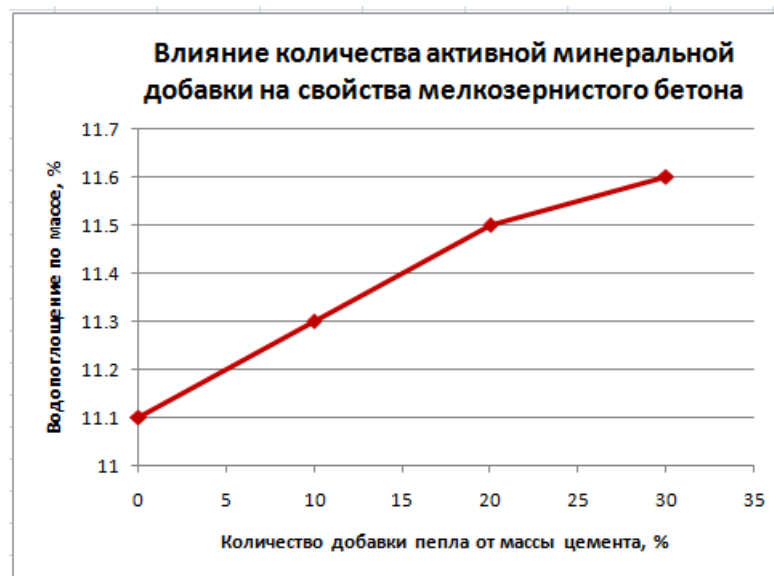


Рис. 2. Влияние добавки пепла на водопоглощение мелкозернистого бетона

Установлено, что прочностные характеристики мелкозернистого бетона снижаются с увеличением добавки пепла в портландцемент при одновременном росте водопоглощения. Рекомендуется вводить до 10 % пепла в портландцемент по массе.

Исследовалась возможность замены мелкодисперсных фракций песка на пепел в мелкозернистом бетоне (табл. 2).

Таблица 2

Физико-механические свойства бетона

Портландцемент к песку по массе	Пепел ($d < 14$ мм) в % от массы песка	Прочность при изгибе (МПа)	Прочность на сжатие (МПа)	Водопоглощение по массе, %
1:2	–	8,9	30,5	11,1
1:2	4	8,2	28,2	11,3
1:3	–	5,0	25,3	10,6
1:3	4	4,6	22,7	10,9
1:4	–	3,6	13,9	9,8
1:4	4	3,2	12,2	10,1

Из таблицы следует, что замена пеплом мелкодисперсных зерен отходов камнедробления уменьшает прочностные характеристики мелкозернистого бетона, а водопоглощение увеличивается. Это объясняется гидравлической активностью тонкодисперсных фракций отходов камнедробления.

Известно, что на свойства бетона существенно влияет зерновой состав заполнителя [8]. Зависимость прочности мелкозернистого бетона состава 1:2 от зернового состава исследовалась с применением симплексно-центроидного плана эксперимента в виде равностороннего треугольника.

Варьируемыми факторами были:

- X_1 – содержание в заполнителе зёрен размерами $1,25 < d < 5$ мм;
- X_2 – содержание в заполнителе зёрен размерами $0,31 < d < 1,25$ мм;
- X_3 – содержание в заполнителе зёрен размерами $0 < d < 0,31$ мм.

Исследовались:

- Y_1 – прочность на сжатие $R_{сж}$, МПа;
- Y_2 – прочность при изгибе $R_{изг}$, МПа.

План эксперимента приведен в табл. 3.

Таблица 3

План эксперимента

№№	Кодированные переменные (доля фракций песка в заполнителе)			Y ₁ , МПа	Y ₂ , МПа	y
	X ₁	X ₂	X ₃			
1	1	0	0	29,55	6,27	y ₁
2	0	1	0	20,55	6,48	y ₂
3	0	0	1	18,58	5,13	y ₃
4	0,5	0,5	0	33,72	7,68	y ₁₂
5	0,5	0	0,5	28,50	5,66	y ₁₃
6	0	0,5	0,5	22,80	5,48	y ₂₃
7	0,33	0,33	0,33	26,03	5,70	y ₁₂₃

В результате исследований получены уравнения регрессии:

$$Y_1 = 29,55X_1 + 20,55X_2 + 18,58X_3 + 34,66X_1X_2 + 17,73X_1X_3 + 12,93X_2X_3 - 34,41X_1X_2X_3;$$

$$Y_2 = 6,27X_1 + 6,48X_2 + 5,13X_3 + 5,23X_1X_2 - 0,13X_1X_3 - 1,3X_2X_3 - 5,65X_1X_2X_3$$

По уравнениям регрессии построен рисунок 3.

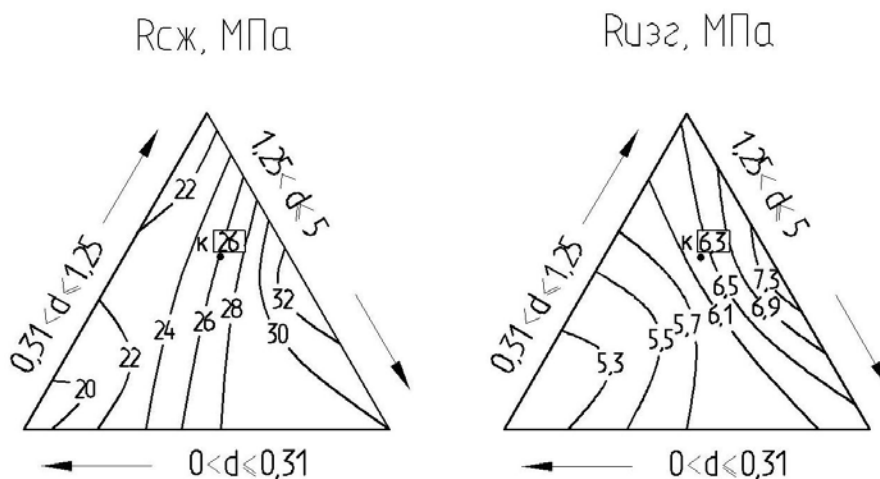


Рисунок 3. Диаграммы зависимости прочности на сжатие и изгиб мелкозернистого бетона от зернового состава заполнителя; “к” – точка, соответствующая прочности бетона на заполнителе исходного зернового состава

Диаграммы показывают, что при увеличении содержания крупных фракций заполнителя прочность на сжатие и изгиб мелкозернистого бетона возрастает в результате более компактного расположения зерен песка. Увеличение содержания мелких фракций песка снижают прочностные характеристики бетона, и повышает водопоглощение.

Для улучшения свойств мелкозернистого бетона нами осуществлялось армирование фибрами из базальта. Исследовалась зависимость прочности на сжатие и при изгибе мелкозернистого бетона от параметров фибрового армирования с использованием ротатабельного плана второго порядка типа правильного шестиугольника.

В результате выявлено, что армирование базальтовыми волокнами обеспечивает существенный рост прочности на сжатие (36,4 МПа) и на изгиб (15,2 МПа) бетона мелкозернистого.

Свойства мелкозернистого фибробетона существенно зависят от способа перемешивания смеси и формования изделий [9, 10].

Поэтому проводились исследования влияния порядка загрузки компонентов мелкозернистого фибробетона на их свойства с применением турбулентного смесителя СБ–133.

Загрузка компонентов и приготовление мелкозернистой фибробетонной смеси осуществлялось двумя способами:

- 1) приготовление сухой однородной смеси, затем фибробетонной смеси с добавлением воды;
- 2) приготовление подвижной однородной смеси без волокон, далее мелкозернистой фибробетонной смеси с добавлением фибр.

Установлено, что второй способ приготовления смеси обеспечивает более высокие прочностные показатели фибробетона при формировании на виброплощадке за счет равномерного распределения базальтовых волокон (табл. 4).

Таблица 4

Влияние способа приготовления смеси на прочность мелкозернистого фибробетона

№№ п/п	Портландцемент к отсеvu по массе	Содержание фибр ($l/d = 1444$), % по объему	Подвижность, см	Способ перемешивания	Прочность, МПа	
					при изгибе	при сжатии
1	1:2	1,0	4	первый	13,3	30,5
2	1:2	1,0	4	второй	15,2	36,4

Далее исследовалось влияние способа формирования на прочность мелкозернистого фибробетона. Образцы формировались методом литья и вибрирования на стандартной виброплощадке из смесей, приготовленных по второму способу (табл. 5).

Таблица 5

Влияние способа формирования образцов на прочность мелкозернистого фибробетона

№№ п/п	Портландцемент к отсеvu по массе	Содержание фибр ($l/d = 1444$), % по объему	Подвижность, см	Способ перемешивания	Прочность, МПа	
					при изгибе	при сжатии
1	1:2	1,0	4	вибрационный	15,2	36,4
2	1:2	1,0	8	литьевой	11,7	29,2

Выявлено, что формирование образцов методов вибрирования повышает предел прочности мелкозернистого фибробетона на сжатие в 1,25, а на изгиб в 1,3 раза по сравнению с методом литья.

Таким образом, исследованы влияние зернового состава заполнителя, добавки пепла, содержания базальтовых фибр, способа приготовления смеси и формования изделий на свойства мелкозернистого фибробетона на основе отходов камнедробления.

Литература

1. Волков И.В. Фибробетон: Состояние и перспективы применения // Промышленное и гражданское строительство. 2002. №9. С. 37.
2. Craig J., Parr J.A., Germain E., Mosquera V, Kamilaes S. Fiber reinforced beams in torsion // ACI Journal. 2014. Vol. 83. Heft 6. pp. 934-942.
3. Gopalaratnam V.S., Shah S.P. Properties of steel fiber reinforced concrete subjected to impact loading // ACI Journal. 2014. Vol. 83. Heft 1. pp. 117-126.
4. Хежев Х.А., Хежев Т.А., Кимов У.З., Думанов К.Х. Огнезащитные и жаростойкие композиты с применением вулканических горных пород // Инженерный вестник Дона, 2011. №4 URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4y2011/710.
5. Хежев Т.А., Кажаров А.Р., Налоев А.Ю., Семенов Р.Н., Хамуков З.А., Желоков Т.Х. Строительные растворы на отходах камнедробления // Инженерный вестник Дона, 2016. №4 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3776.
6. Ахматов М.А. Эффективность применения местных строительных материалов и бетона. Нальчик: Эльбрус, 1986. 160 с.
7. Ахматов М.А. Эффективность применения легких бетонов, изделий и конструкций из них // Строительные материалы. 1998. № 4. С. 9 – 13.
8. Баженов Ю.М. Технология бетона. М.: Высшая школа, 1987. 415 с.
9. Рабинович Ф.Н. Дисперсно армированные бетоны. М.: Стройиздат, 1989. 174 с.

10. Моргун Л.В., Моргун В.Н. Технология производства и применение фибробетона в строительстве // Строительные материалы. 2005. №8. С. 34–35.

References

1. Volkov I.V. Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. 2002. №9. P. 37.
2. Craig J., Parr J.A., Germain E., Mosquera V, Kamilares S. ACI Journal. 2014. Vol. 83. Heft 6. pp. 934-942.
3. Gopalaratnam V.S., Shah S.P. ACI Journal. 2014. Vol. 83. Heft 1. pp. 117-126.
4. Khezhev Kh.A., Khezhev T.A., Kimov U.Z., Dumanov K.Kh. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2011. №4 URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4y2011/710.
5. Khezhev T.A., Kazharov A.R., Naloys A.YU., Semenov R.N., Khamukov Z.A., Zhelokov T.KH. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2016. №4 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3776.
6. Akhmatov M.A. Effektivnost' primeneniya mestnykh stroitel'nykh materialov i betona [Effectiveness of the application of local building materials and concrete]. Nal'chik: El'brus, 1986. 160 p.
7. Akhmatov M.A. Stroitel'nye materialy. 1998. № 4. pp. 9–13.
8. Bazhenov Yu.M. Tekhnologiya betona [Concrete technology]. Moscow: Vysshaya shkola, 1987. 415 p.
9. Rabinovich F.N. Dispersno armirovannyye betony [Disperse reinforced concrete]. Moscow: Stroyizdat, 1989. 174 p.
10. Morgun L.V., Morgun V.N. Stroitel'nyye materialy. 2005. №8. pp. 34–35.