



Самоуплотняющиеся мелкозернистые фибробетоны с применением отходов камнедробления

*Т.А. Хежеев, А.Р. Кажаров, А.В. Журтов, Р.Н. Семенов, Т.Х. Желоков,
А.А. Карданов, М.Б. Ногеров*

Кабардино-Балкарский государственный университет, Нальчик

Аннотация: Приведены результаты исследований по созданию самоуплотняющихся мелкозернистых фибробетонов на отходах камнедробления с применением полифункциональной добавки Д-5. Разработаны составы самоуплотняющихся мелкозернистых фибробетонов с применением базальтовой фибры, позволяющие значительно уменьшить расход цемента и улучшить характеристики мелкозернистой бетонной смеси и бетона. Использование полифункциональной добавки Д-5 в смесях позволяет повысить прочностные свойства мелкозернистых фибробетонов при одновременном улучшении реологических характеристик бетонных смесей. Замена цемента до 10 % от массы пеплом фракции $d < 0,14$ мм в мелкозернистых бетонных смесях не вызывает заметного снижения прочностных свойств бетона. Разработанные самоуплотняющиеся мелкозернистые фибробетоны обладают повышенными прочностными свойствами и имеют низкую себестоимость за счет использования местного сырья и отходов камнедробления.

Ключевые слова: цемент, отходы камнедробления, пепел, полифункциональная добавка Д-5, базальтовое волокно, самоуплотняющийся мелкозернистый фибробетон, прочность на изгиб и сжатие, подвижность смеси, план эксперимента.

Одним из путей совершенствования строительного производства является разработка и внедрение новых эффективных материалов, способов повышения эксплуатационных свойств бетонов.

Конструктивные формы современных железобетонных элементов зданий и сооружений становятся все более сложными и необычными, что требует использования новых эффективных материалов и методов приготовления и укладки бетонных смесей. Одним из эффективных способов повышения качества строительства является применение самоуплотняющихся бетонных смесей [1, 2, 3, 4]. Рецептура самоуплотняющегося бетона отличается не только необходимостью применения высокоэффективных пластифицирующих добавок нового



поколения, но и требует применения минеральных микронаполнителей, оптимизированных по дисперсности, гранулометрическому и минеральному составу.

Актуальной проблемой современного строительного материаловедения является ресурсосбережение и защита окружающей среды. Использование местного сырья для изготовления строительных материалов и изделий может значительно сократить стоимость строительства [5, 6, 7, 8].

Кабардино-Балкарская республика располагает большими запасами нерудных материалов, в том числе вулканических горных пород и отходов камнедробления в виде мелких фракций различного гранулометрического и химического состава. Для эффективного использования отходов камнедробления в самоуплотняющихся бетонах необходимы дальнейшие исследования.

Одним из путей решения задач по совершенствованию эксплуатационных характеристик мелкозернистого бетона является его армирование различными видами металлических и неметаллических фибр минерального или органического происхождения [9].

Одним из факторов малой востребованности фибробетона в строительстве является его относительно более высокая исходная цена по сравнению с обычным бетоном или железобетоном и недостаточная изученность долговечности, износостойкости и эксплуатационной пригодности в различных условиях эксплуатации [10]. Создавать тонкие, легкие, прочные, разнообразных геометрических форм конструкции представляется возможным благодаря использованию мелкозернистых базальтофибробетонов и отходов камнедробления.

Целью работы является получение эффективных самоуплотняющихся мелкозернистых фибробетонов с улучшенными физико-механическими



свойствами на основе отходов камнедробления с применением вулканического пепла.

В исследованиях использовались: портландцемент ПЦ400-ДО; отходы камнедробления гравийно-песчаной смеси Нарткалинского карьера КБР с максимальной крупностью зерен 5 мм; добавка Д-5 производства ООО НПП «Ирстройпрогресс» (г. Владикавказ); вулканический пепел Заюковского месторождения с максимальной крупностью зерен 0,14 мм.

Химический состав вулканического пепла «Заюковского» месторождения, использованного в исследованиях, представлен в табл. 1.

Таблица 1

Химический состав вулканического пепла

Содержание основных компонентов в % от массы								
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO	Na ₂ O+ +K ₂ O	SO ₃	п.п.п.
73,1	13,75	1,75	1,65	1,12	0,23	3,87	0,12	2,0

Гранулометрический состав отходов камнедробления приведен в табл. 2.

Таблица 2

Гранулометрический состав отходов камнедробления

Наименование материала	Частные остатки на ситах, %					Прошло сквозь сито 0,14
	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	
Отходы камнедробления	13,7	13,9	26,9	27,3	14,2	4,0

Исследовалось влияние соотношения компонентов, подвижности смеси на свойства мелкозернистого бетона на отходах камнедробления. Были изготовлены образцы-балочки размерами 4x4x16 см из мелкозернистой бетонной смеси подвижностью 4 см по погружению конуса СтройЦНИЛ на



портландцементе ПЦ400-ДО с добавками вулканического пепла и без добавки. Образцы формовались на стандартной виброплощадке. Результаты исследований свойств мелкозернистого бетона на 28 сутки твердения в нормальных условиях по ГОСТ 310.4 приведены в табл. 3.

Таблица 3

Свойства мелкозернистого бетона на отходах камнедробления

Соотношение цемента к песку по массе	Количество добавки пепла в % от массы цемента	Подвижность, см	Предел прочности и при изгибе (МПа)	Предел прочности и при сжатии (МПа)	Водопоглощение по массе, %
1:2	–	4,0	7,9	42,5	7,1
1:2	10	4,0	7,6	41,8	7,3
1:2	20	4,0	6,5	36,8	7,5
1:2	30	4,0	5,9	35,7	7,6
1:3	–	4,0	4,6	35,4	6,6
1:3	10	4,0	4,4	34,3	6,7
1:3	20	4,0	3,8	31,3	6,9
1:3	30	4,0	3,2	28,9	7,0

Из табл. 3 следует, что пределы прочности на сжатие и изгиб мелкозернистого бетона снижается с увеличением количества добавки вулканического пепла в цемент при одновременном повышении водопоглощения по массе. В мелкозернистый бетон можно вводить не более 10 % вулканического пепла с максимальными размерами зерен до 0,14 мм без существенного уменьшения показателей пределов прочности на изгиб и сжатие образцов нормального твердения.

Исследовалось влияние добавки Д–5 на технологические свойства мелкозернистой бетонной смеси и эксплуатационные характеристики бетона (табл. 4). Выбор добавки Д–5 обусловлен его многофункциональными свойствами. Он обладает свойствами пластификатора, ускорителя твердения,



а также повышает прочность, водонепроницаемость, сульфатостойкость и долговечность бетонов.

Таблица 4

Влияние добавки Д-5 на свойства мелкозернистого бетона на отходах камнедробления

Соотношение цемента к песку по массе	Добавка Д-5 в % от массы цемента	Подвижность, см	Предел прочности на 7 сутки		Предел прочности на 28 сутки	
			при изгибе (МПа)	при сжатии (МПа)	при изгибе (МПа)	при сжатии (МПа)
1:2	–	4,0	6,6	25,3	7,9	42,5
1:2	1	4,0	7,8	29,3	9,2	44,7
1:2	2	4,0	8,5	36,6	9,7	48,4
1:2	3	4,0	9,3	39,7	9,9	49,3
1:2	–	8,0	5,7	21,7	6,9	38,2
1:2	1	8,0	6,7	25,2	8,0	41,2
1:2	2	8,0	7,3	31,4	8,5	43,5
1:2	3	8,0	8,0	34,1	8,7	44,4

Исследования показали, что при введении до 3 % добавки Д-5 по массе от цемента прочностные характеристики мелкозернистого бетона повышаются на изгиб и сжатие до 40 и 57 % соответственно на 7 сутки твердения образцов и до 20 и 16 % на 28 сутки твердения при подвижности смеси 4 см по погружению конуса СтройЦНИЛ. Применение добавки Д-5 в смесях подвижностью 8 см позволяет получать самоуплотняющиеся мелкозернистые бетоны с повышенными прочностными характеристиками по сравнению с эталонными и исключить процесс формирования изделий вибрационным способом.

Разработанные мелкозернистые бетоны имеют такие недостатки, как хрупкость, относительно низкая прочность на изгиб и сжатие. Введение в смесь базальтовой фибры может устранить эти недостатки, а также улучшить физико-механические характеристики мелкозернистого бетона.

Состав исходной бетонной матрицы и ее физико-механические свойства для армирования базальтовыми волокнами приведены в табл. 5.

Таблица 5

Расход компонентов в смеси и физико-механические свойства мелкозернистого бетона

№№ состава	Соотношение цемента к отсеву по массе	Подвижность, см	Предел прочности, МПа	
			при изгибе	при сжатии
1	2	3	4	5
1	1:2	4	9,7	48,4

Для изучения влияния параметров фибрового армирования (диаметра и длины) на прочностные свойства мелкозернистого бетона был реализован ротатбельный план второго порядка типа правильного шестиугольника с центральными точками.

После проведения эксперимента и обработки полученных данных построены поверхности отклика (рис. 1).

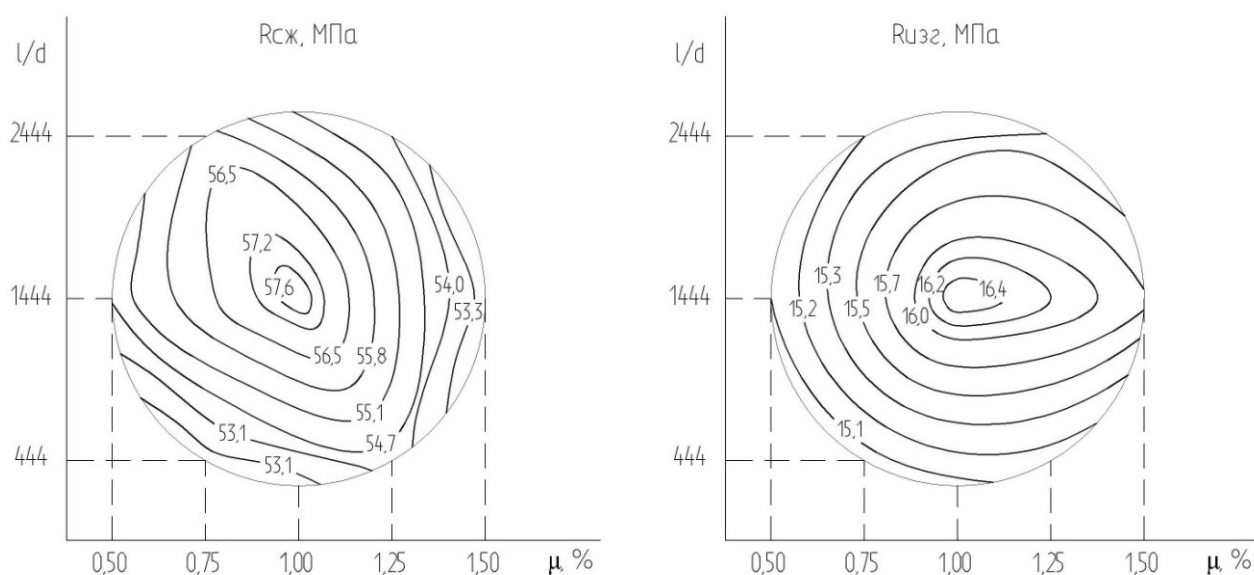


Рис. 1. Поверхности отклика. Здесь: $R_{сж}$ – предел прочности при сжатии, МПа; $R_{изг}$ – предел прочности при изгибе, МПа; l/d – отношение длины волокон к их диаметру; μ – процент армирования по объему



Анализ полученных уравнений и поверхностей отклика показал, что наибольшие значения прочности на сжатие наблюдаются в области плана с $\mu_v \approx 1,0\%$ и $l/d = 1444$, а прочности на изгиб – $\mu_v \approx 1,25\%$ и $l/d = 1444$.

Таким образом, разработанные составы самоуплотняющихся мелкозернистых фибробетонов позволяют сократить расход портландцемента при одновременном улучшении физико-механических свойств мелкозернистой бетонной смеси и бетона.

Литература

1. Мозгалева К.М., Головнев С.Г. Самоуплотняющиеся бетоны: возможности применения и свойства // Академический вестник УралНИИПроект РААСН. 2011. №4. С. 70–74.
2. Budnik J. Selbstverdichtender Beton als Sichtbeton für das Science // Center in Wolfsburg // Betonwerk + Fertigteil – Techn. 2004. №2. pp. 82–85.
3. Kuch H., Palzer S. Selbstverdichtender Beton zur Herstellung von Betonwaren und – fertigteilen // Beton. 2005. №1. pp. 10–12.
4. Brandl J. Selbstverdichtender Beton beim Bau eines U-Bahnhofs // Beton. 2003. №9. pp. 424–427.
5. 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.
6. Хежев Т.А., Матаев Т.З., Гедгафов И.А., Дымов Р.Х.. Фиброгипсовермикулитобетонные композиты с применением вулканического пепла // Инженерный вестник Дона, 2015. №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1p2y2015.
7. Овсяков М.Ю., Сухов А.А., Хежев Т.А. Технология фибропенобетонов с применением отходов пиления вулканического туфа //



Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. Махачкала. №1 (36). 2015. С. 107–113.

8. 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.

9. Волков И.В. Фибробетон: Состояние и перспективы применения // Промышленное и гражданское строительство. 2002. №9. С. 37.

10. Волков И.В. Проблемы применения фибробетона в отечественном строительстве // Строительные материалы. 2004. №6. С. 12.

References

1. Mozgalev K.M., Golovnev S.G. Akademicheskij vestnik UralNIIProekt RAASN. 2011. №4. pp. 70–74.

2. Budnik J. Center in Wolfsburg. Betonwerk + Fertigteil – Techn. 2004. №2. pp. 82–85.

3. Kuch H., Palzer S. Beton. 2005. №1. pp. 10–12.

4. Brandl J. Beton. 2003. №9. pp. 424–427.

5. 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.

6. Khezhev T.A., Mataev T.Z., Gedgafov I.A., Dymov R.Kh. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2015. №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1p2y2015.

7. Ovsyukov M.Yu., Sukhov A.A., Khezhev T.A. Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskie nauki. Makhachkala. №1 (36). 2015. pp. 107–113.

8. 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.

9. Volkov I.V. Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. 2002. №9. P. 37.



10. Volkov I.V. Stroitel'nye materialy. 2004. №6. P. 12.