

УДК 691.32

Дзугулов И.А., Кажаров А.Р., Курбанов Р.М.

МЕЛКОЗЕРНИСТЫЕ ФИБРОБЕТОНЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ ВУЛКАНИЧЕСКОГО ПЕПЛА, АРМИРОВАННЫЕ БАЗАЛЬТОВЫМИ ВОЛОКНАМИ

Dzugulov I.A., Kazharov A.R., Kurbanov R.M.

FINE-GRAINED THE FIBER CONCRETE WITH APPLICATION VOLCANIC ASH, REINFORCED BY THE BASALT FIBRES

Разработаны составы мелкозернистого бетона с применением вулканического пепла. Исследованы составы и свойства мелкозернистых фибробетонов с вулканическим пеплом с применением методов математического планирования эксперимента. Выявлено, что армирование мелкозернистого бетона базальтовыми волокнами существенно повышает их прочность при изгибе.

***Ключевые слова:** мелкозернистый бетон, вулканический пепел, базальтовое волокно, планирование эксперимента.*

The compositions of fine-grained concrete with the application of volcanic ash are developed. Are investigated compositions and properties of fine-grained fiber concrete with the volcanic ash with the application of methods of the mathematical planning of experiment. It is revealed, that the reinforcement of fine-grained concrete by basaltic fibers substantially increases their strength with the bend.

***Key words:** fine-grained concrete, volcanic ash, basaltic fiber, planning experiment.*

Одним из главных путей научно-технического прогресса в строительстве является широкое применение новых эффективных материалов, способов увеличения эксплуатационных характеристик бетонов. Возведение современных зданий и сооружений требует применение бетонов, обладающих высокими эксплуатационными свойствами, такими как прочность на сжатие и растяжение, трещиностойкость, ударная вязкость, износостойкость, коррозионная стойкость, морозостойкость и т.д.

Одним из путей решения задач по совершенствованию эксплуатационных характеристик мелкозернистого бетона является применение активных минеральных добавок, его армирование различными видами металлических и неметаллических фибр минерального или органического происхождения [1].

В качестве активной минеральной добавки в мелкозернистом бетоне

нами исследовался вулканический пепел. Целесообразность их применения обуславливается тем, что из 60 – 75 % кремнезема, входящего в состав вулканических пород, 30 – 35 % находится в аморфном (активном) состоянии [2].

Выбор базальтового волокна для дисперсного армирования можно объяснить следующими причинами: наличие больших запасов базальта, диабаз, габбродорелита для производства базальтовых волокон во многих регионах страны является предпосылкой для массового применения в строительстве; экологическая безопасность их применения; более высокий модуль упругости и низкая себестоимость базальтовых волокон по сравнению со стеклянными; более высокая щелочестойкость базальтовых волокон по сравнению со стеклянными волокнами из алюмоборосиликатного состава.

В исследованиях для разработки мелкозернистых фибробетонных композитов применялись: портландцемент ПЦ500-ДО производства ЗАО «Белгородский цемент»; песок «Малкинского» месторождения с максимальной крупностью зерен 5 мм; вулканический пепел фракции 0-0,14 мм Заюковского месторождения; базальтовое волокно производства ОАО «Ивотстекло» марки РНБ-9-1200-4с.

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 песка «Малкинского» месторождения приведен в табл. 2.

Таблица 2 - Гранулометрический состав песка

Наименование материала	Частные остатки на ситах, %					Прошло сквозь сито 0,14
	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	
Песок	4,6	9,3	25,5	35,5	21	4,1

Приготовление смеси осуществляли в смесителе принудительного действия, в который последовательно загружали цемент, вулканический пепел, песок, базальтовое волокно и перемешивали до получения однородной сухой смеси, затем добавляли воду и вновь продолжали перемешивание до получения однородной дисперсно-армированной мелкозернистой бетонной смеси.

Подвижность мелкозернистой бетонной смеси определяли по вискозиметру Суттарда. Расплыв смеси составлял 18 см. Образцы размером 4x4x16

см формовали литьевым способом и осуществляли естественную сушку в воздушно-сухих условиях.

Результаты исследований мелкозернистого бетона с добавкой вулканического пепла в качестве активной минеральной добавки приведены в табл. 3.

Таблица 3 - Физико-механические свойства мелкозернистого бетона

Соотношение цемента к песку по массе	Количество добавки пепла в % от массы цемента	Предел прочности на изгиб, МПа)	Предел прочности на сжатие, МПа	Водопоглощение по массе, %
1:2	–	4,3	19,5	12,4
1:2	10	4,2	19,1	12,6
1:2	20	4,1	19,0	12,9
1:2	30	3,8	18,3	13,2

Из табл. 3 следует, что с увеличением количества добавки вулканического пепла в цемент происходит снижение прочности на изгиб и сжатие мелкозернистого бетона. В портландцемент ПЦ500-ДО можно вводить до 20 % вулканического пепла с максимальными размерами зерен до 0,14 мм без существенного уменьшения показателей пределов прочности на изгиб и сжатие образцов нормального твердения, что обусловлено гидравлической активностью мелкодисперсных частиц пепла.

Были проведены эксперименты по определению влияния на характеристики мелкозернистого бетона замена пылевидной фракции ($d \leq 14$ мм) кварцевого песка на вулканический пепел. Результаты испытаний приведены в табл. 4.

Таблица 4 - Физико-механические свойства мелкозернистого бетона с добавками вулканического пепла взамен пылевидной фракции кварцевого песка

Соотношение цемента к песку по массе	Количество добавки пепла в % от массы кварцевого песка	Предел прочности при изгибе, МПа	Предел прочности при сжатии, МПа	Водопоглощение по массе, %
1:2	–	4,3	19,5	12,4
1:2	4,1	5,8	21,3	7,8
1:3	–	3,4	12,3	–
1:3	4,1	4,9	14,4	–
1:4	–	2,6	7,4	–
1:4	4,1	3,6	8,7	–

Из табл. 4 следует, что замена пылевидной фракции кварцевого песка вулканическим пеплом приводит к увеличению прочности при изгибе на 34,8-44,0 %, при сжатии на 9,2-12,5 %. Водопоглощение для состава 1:2 по массе уменьшилось в 1,59 раза.

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 мелкозернистого бетона для армирования базальтовыми волокнами приведены в табл. 5.

Таблица 5 - Расход компонентов в смеси и физико-механические свойства мелкозернистого бетона

№ состава	Расход компонентов в смеси на 1 м ³ , кг			Предел прочности, МПа	
	песок	цемент	вулканический пепел d<0,14 мм, 20 % от массы цемента	на сжатие	на изгиб
1	2	3	4	5	6
1	1302	521	130	19,0	4,1

Для изучения влияния параметров фибрового армирования на свойства мелкозернистого бетона был реализован ротатбельный план второго порядка типа правильного шестиугольника с центральными точками.

Геометрическая интерпретация такого плана представлена на рис. 1.

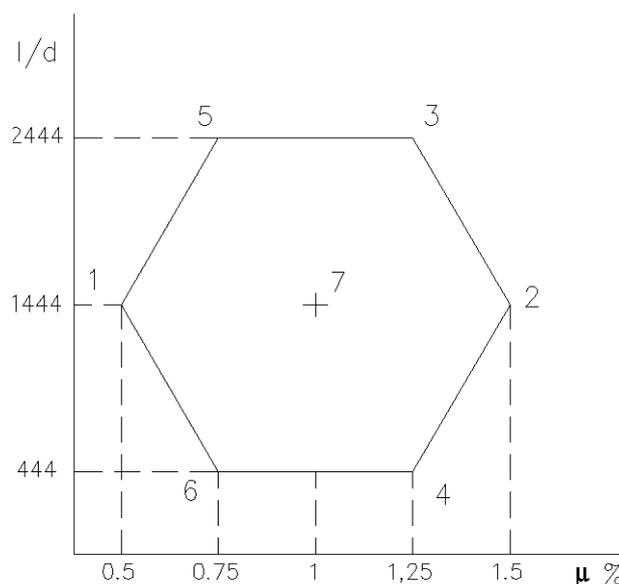


Рисунок 1 - План эксперимента

В качестве исследуемых факторов были приняты основные параметры дисперсного армирования: X_1 – процент армирования по объему μ_v , %; X_2 – отношение длины волокон к их диаметру l/d . В качестве параметров оп-

тимизации рассматривались: Y_1 – предел прочности при сжатии $R_{сж}$, МПа; Y_2 – предел прочности при изгибе $R_{изг}$, МПа. Матрица эксперимента имеет следующий вид (табл. 6).

Таблица 6 - Матрица эксперимента

№ п/п	Натуральные переменные		Матрица эксперимента				
	x_1	x_2	X_1	X_2	X_1^2	X_2^2	$X_1 X_2$
1	0,5	1444	-1	0	+1	0	0
2	1,5	1444	+1	0	-1	0	0
3	1,25	2444	+0,5	+0,87	+0,25	+0,75	+0,43
4	1,25	444	+0,5	-0,87	+0,25	+0,75	-0,43
5	0,75	2444	-0,5	+0,87	+0,25	+0,75	-0,43
6	0,75	444	-0,5	-0,87	+0,25	+0,75	+0,43
7	1,0	1444	0	0	0	0	0

Результаты экспериментов приведены в табл. 7 и 8.

Таблица 7 - Результаты испытания образцов на сжатие

№ п/п	Значения параллельных измерений функции отклика Y_1 , МПа						Среднее значение Y_1 , МПа	Дисперсия S_j^2	Коэффициент вариации, %	Ошибка S_j
	y_1	y_2	y_3	y_4	y_5	y_6				
1	14,23	14,73	14,23	14,53	15,13	14,13	14,5	0,15	0,03	0,38
2	13,80	13,80	14,20	13,56	14,35	13,60	13,9	0,10	0,02	0,32
3	13,95	14,21	14,50	14,20	14,05	14,15	14,2	0,03	0,01	0,19
4	13,10	12,95	12,80	13,10	13,20	12,85	13,0	0,03	0,01	0,16
5	14,80	15,20	14,55	14,70	14,68	14,95	14,8	0,05	0,02	0,23
6	12,90	14,40	13,10	12,95	13,60	14,20	13,5	0,43	0,05	0,65
7	15,20	15,50	15,40	14,95	15,10	14,75	15,2	0,08	0,02	0,28

Таблица 8 - Результаты испытания образцов на изгиб

№ п/п	Значения параллельных измерений функции отклика Y_2 , МПа						Среднее значение Y_2 , МПа	Дисперсия S_j^2	Коэффициент вариации, %	Ошибка S_j
	y_1	y_2	y_3	y_4	y_5	y_6				
1	9,29	8,76	8,43	8,52	8,85	8,94	8,8	0,10	0,04	0,31
2	9,50	9,80	10,10	9,70	9,60	10,00	9,8	0,05	0,02	0,23
3	9,34	9,29	9,12	9,31	9,15	9,32	9,3	0,01	0,01	0,09
4	9,31	9,02	8,76	9,25	8,96	8,85	9,0	0,05	0,02	0,22
5	9,60	8,23	9,22	9,42	8,55	9,37	9,1	0,30	0,06	0,55
6	7,96	9,37	8,32	8,25	9,10	8,70	8,6	0,29	0,06	0,54
7	10,05	9,73	9,54	9,63	9,90	9,70	9,8	0,03	0,02	0,19

После проведения эксперимента и обработки полученных данных получены следующие уравнения регрессии в кодированном виде:

$$Y_1 = 15,2 - 0,38 X_1 + 0,71 X_2 - X_1^2 - 1,43 X_2^2 - 0,06 X_1 X_2 ;$$

$$Y_2 = 9,8 + 0,43 X_1 + 0,23 X_2 - 0,5 X_1^2 - 0,9 X_2^2 - 0,12 X_1 X_2 .$$

По приведенным выше уравнениям были построены поверхности отклика (рис. 2).

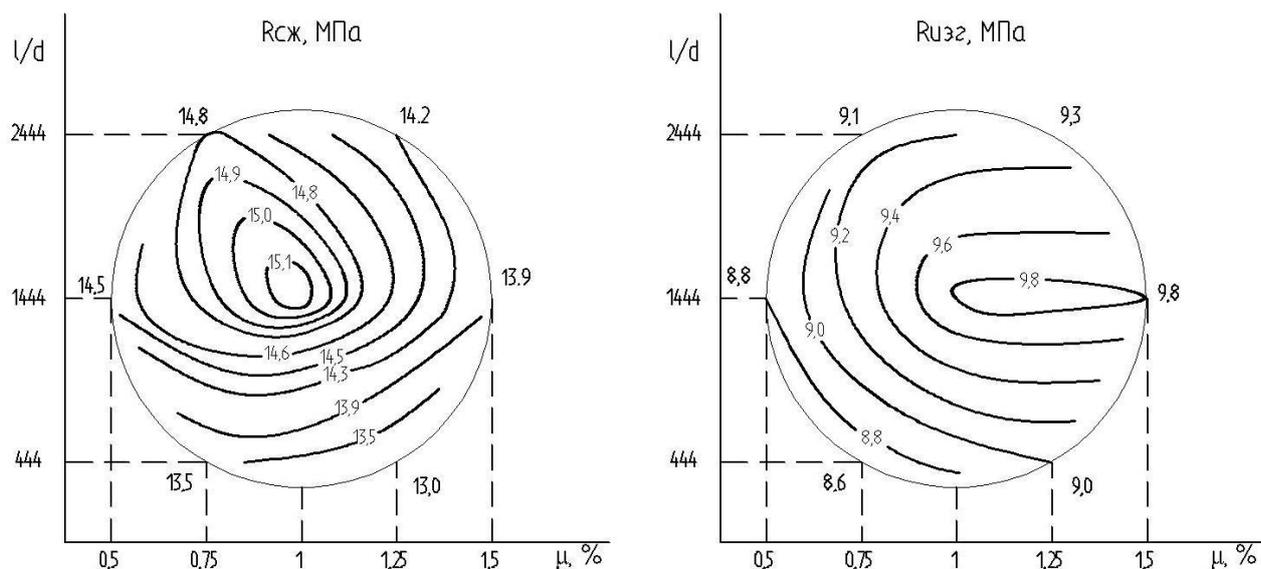


Рисунок 2 - Поверхности отклика. Здесь: $R_{сж}$ – предел прочности при сжатии, МПа; $R_{ииз}$ – предел прочности при изгибе, МПа; l/d – отношение длины волокон к их диаметру; μ – процент армирования по объему

Вывод.

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 $l/d = 1444$. Дальнейшее увеличение процента армирования приводит к снижению прочности, что объясняется нарушением структуры дисперсно-армированного мелкозернистого композита.

Таким образом, применение вулканического пепла в мелкозернистых бетонах позволяет существенно уменьшить расход цемента, армирование базальтовыми волокнами повышает прочность на изгиб мелкозернистого бетона в 2,5 раза.

Библиографический список:

1. Волков И.В. Фибробетон: состояние и перспективы применения // Промышленное и гражданское строительство. – 2002. – № 9. – С. 37.
2. Ахматов М.А. Эффективность применения местных строительных материалов и бетона. – Нальчик: Эльбрус, 1986. – 160 с.
3. Жуков А.З., Хаджишалапов Г.Н., Хежев Т.А., Хежев Х.А. //Жаростойкие фибровермикулитобетонные композиты с применением вулканического пепла//Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. Махачкала № 35 (4) 2014, С 118-123 стр.