

Шакарна М. Х, аспирант

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

КОМПОЗИЦИОННЫЕ ВЯЖУЩИЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВУЛКАНИЧЕСКИХ ТУФОВ ИОРДАНИИ*

husni19_86@yahoo.com

Исследовано влияние тонкости помола и различного содержания минерального наполнителя - туфа на физико-механические и технологические свойства смешанных вяжущих.

Установлено, что на основе вулканических туфов возможно получать смешанные вяжущие с различными физико-механическими показателями.

Ключевые слова: смешанное вяжущее, вулканические туфы, минеральная добавка, химический и минеральный состав, рентгенофазовый анализ, физико-механические и технологические показатели, сроки схватывания, состав смешанного вяжущего.

В условиях интенсивного развития строительной индустрии в Арабских странах, в особенности в странах Персидского залива, с каждым годом всё больше возрастает потребность в новых экологически чистых строительных материалах с высокими физико-механическими и технико-экономическими показателями. Наиболее широко распространённым для этого региона материалом является бетон. Изделия и конструкции из него обладают высокой прочностью и долговечностью. Применение различных видов добавок позволяет получать композиты со специальными свойствами, необходимыми в тех или иных условиях – высокая коррозионная стойкость, водонепроницаемость, жаростойкость и др. Основным компонентом, входящим в состав большинства видов бетонов является портландцемент. Спрос на цементно-бетонные изделия и конструкции высокого качества в Арабских странах непрерывно увеличивается, а значит и стремительно растёт спрос на портландцемент [1-2].

Годовой выпуск цемента в Арабских странах колеблется около 100 млн. т в год. Ведущими среди них можно выделить страны Саудовской Аравии и Королевства Иордании, а так же Объединённые Арабские Эмираты. В связи с непрерывным ростом спроса на портландцемент, страны-производители стремятся выпускать продукцию высокого качества, экологически безопасную для здоровья человека и окружающей среды с минимальными затратами на производство [1-3].

Важное значение в Арабских странах придают экологической безопасности жилых и промышленных зданий и сооружений, которая напрямую зависит от качества используемых в строительстве материалов [4-5]. Неблагоприятное их воздействие на здоровье человека и окружающую среду должно быть минимальным. В связи с этим в арабских государствах проводятся многочисленные исследования, направ-

ленные на выпуск экологически чистых строительных материалов и внедряются все новые технологии в строительной индустрии.

По данным международной организации «Зелёных зданий» (USGBCO), для возведения экологически чистых зданий необходимо соблюдение следующих условий:

1. Максимальное использование вторичного сырья при производстве строительных материалов и для возведения зданий. Замена природного сырья отходами различных отраслей народного хозяйства позволяет сохранить запасы природных ресурсов Земли.

2. Применение экологически безопасного сырья, не содержащего вредных веществ для здоровья человека, в производстве строительных материалов, используемых при возведении зданий и строительства в целом.

3. Замена в строительном комплексе дефицитных природных ресурсов на их аналоги, имеющих широкое распространение. Это позволяет достичь максимальной экономии природных ресурсов, достаточно редко встречающихся в том или ином регионе нашей планеты.

4. Достижение минимальных энергетических затрат на производство строительных материалов для возведения зданий, их строительство и обслуживание.

По данным USGBCO «Зелёные здания» потребляют около 30 – 40 % мировой энергии, на их строительство затрачивается около 3 млрд. т природных ресурсов Земли. Например, в США такие здания потребляют около 40% энергии, 12 % запасов питьевой воды, а выброс углекислого газа составляет 38% [2].

Согласно источникам [2, 3] более 7 % двуокиси углерода и других вредных веществ в Арабских странах поступает в атмосферу в результате работы цементных заводов. Поэтому сегодня технологии производства цемента на этих заводах непрерывно совершенствуются, накоплен значительный опыт в области обеспе-

чения выпуска экологически безопасной и экономически эффективной продукции.

Эти цифры заставили правительство Арабских стран задуматься о выпуске новых строительных материалов, позволяющих обеспечить экономию природных и энергетических ресурсов и комфортность системы «Человек – материал – среда обитания».

Экологически чистым сырьём для производства строительных материалов являются туфы. В строительстве Арабских стран их применяют с древних времён. Сегодня туфы используются для кладки стен в виде пиленых камней правильной формы и бута, в дробленном виде – в качестве заполнителей для легких бетонов. Архитектурные постройки, мечети и дома из туфа получаются необыкновенно теплыми и прочными. Он достаточно легко обрабатывается (разрезается и шлифуется), что упрощает процесс монтажных работ.

Строительные материалы, содержащие в своем составе туф, обладают высокими прочностными характеристиками, водонепроницаемостью, морозостойкостью, коррозионной стойкостью. Здания, построенные с использованием материалов на основе туфового сырья, обладают высокой долговечностью и надёжностью.

Вулканические туфы образуются путем цементации и уплотнения вулканических пеплов и

другого твердого материала, цементирующим веществом служат вулканический пепел, кремнезем и продукты разложения пепла. Собственно вулканические туфы – мелко- и тонкообломочные породы, состоящие из сцементированных частиц вулканического песка (0,1...0,2 мм) и пепла (менее 0,1 мм). Форма обломков в грубообломочных туфах может быть округлой (вулканические бомбы), остроугольной или фигурной (следствие выброса в пластическом состоянии). Туфы с остроугольными обломками называют щебенчатыми. Поверхность обломков чаще шероховатая, порода многих обломков имеет шлаковую структуру. По преобладающему размеру обломков среди туфов выделяются разновидности: глыбовые агломератовые туфы (крупнее 20 см), собственно агломератовые (5-20 см), лапиллиевые (1-5 см), гравийные (0,2-1 см), мелкообломочные, пепловые и др. туфы.

Вулканические поля месторождения «Narat Ashaam» Королевства Иордании являются одним из нескольких кайнозойских вулканических месторождений, расположенных в западной части Аравийского полуострова (рис. 1). Эти вулканические поля охватывают около 11000 км² Королевства Иордании со средней глубиной до 100 м. Около 200 извержений с вулканическими центрами были зафиксированы на северо-востоке Королевства Иордании [4- 5].

Таблица 1

Химический состав вулканических туфов различных месторождений Королевства Иордании

Месторождение	Содержание оксидов, %						
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	K ₂ O	Na ₂ O
	Эксплуатируемые						
«Tell Rmah»	42.0	12.8	12.1	10.1	8.5	0.8	4.0
«Mkawer»	42.7	13.9	12.7	9.2	9.8	1.9	2.1
«Aarityan»	38.6	12.8	12.1	9.6	9.3	1.5	2.1
	Не эксплуатируемые						
«Shihan»	44.0	13.2	8.3	8.6	11.3	1.2	2.0
«Tell Jheera»	35.0	10.2	11.3	7.6	20.2	0.7	2.4
«Jabal Atatah»	48.0	10.8	8.1	7.7	10.1	0.5	1.5
«Tlul Al-Shahba»	41.7	11.8	12.0	10.3	9.4	1.7	2.8
«Jabal Onaizah»	40.0	7.9	8.8	8.6	15.8	0.9	5.7

Наиболее важными физическими свойствами цеолитового туфа Королевства Иордании считаются: размер зерен, их распределение по объёму материала, процентное содержание цеолита в материале, устойчивость к истиранию, его кислотостойкость и насыпная плотность. Наиболее важным физическим свойством для строительных материалов, в т.ч. и туфа является водостойкость. Чем выше водостойкость, тем более водостойким и долговечным является материал. Исследования, проведенные учеными на заводе «Цемент Иордании» в 1985 году, доказали что присутствие цеолитов в туфе значительно повышает коэффициент водостойкости.

В настоящее время широкое распространение получили композиционные вяжущие, которые целесообразно использовать для повышения эффективности использования цемента и получения высококачественных бетонов [6-21], в этих материалах к основному вяжущему компоненту добавляют специальные добавки и активные минеральные компоненты, в том числе обладающие вяжущими свойствами.

С целью получения смешанных вяжущих был проведен целый ряд испытаний: сначала разрабатывали составы вяжущих композиций, определяли оптимальное соотношение компонентов цемента и минерального компонента, в

качестве минерального компонента использования туф месторождения Королевства Иордании. Изучение физико-механических и технологических свойств смешанных вяжущих, полученных путём механического смешения сырьевых компонентов, проводилось в несколько этапов:

1. Исследование влияния тонкости помола и содержания туфа в цементных композициях на физико-механические и технологические свойства

2. Исследование влияния тонкости помола туфа на физико-механические и технологические свойства вяжущих композиций.

3. Исследование влияния способа помола сырьевых компонентов на физико-механические и технологические свойства вяжущих композиций.

На первом этапе работы были выполнены исследования по изучению влияния процентного соотношения сырьевых компонентов на физико-механические и технологические свойства вяжущих композиций с различной тонкостью помола минерального компонента – вулканического туфа. С целью изучения влияния различных дозировок туфа в вяжущие композиции вводили от 5 до 50% туфа с разной удельной поверхно-

стью $S=350 \text{ м}^2/\text{кг}$ и $S=700 \text{ м}^2/\text{кг}$, составы приведены в табл. 2.



Рис. 1. Карта расположения месторождений цеолитового туфа Королевства Иордании

Таблица 2

Составы смешанных вяжущих на основе цемента и туфа

№ п/п	Составы смешанных вяжущих			
	Цемент		Туф	
	Доля в составе %	Удельная поверхность $\text{м}^2/\text{кг}$	Доля в составе %	Удельная поверхность $\text{м}^2/\text{кг}$
1а	100	320	-	350
2а	95	320	5	350
3а	90	320	10	350
4а	80	320	20	350
5а	70	320	30	350
6а	50	320	50	350
1б	100	700	-	-
2б	95	320	5	700
3б	90	320	10	700
4б	80	320	20	700
5б	70	320	30	700
6б	50	320	50	700

Композиции готовили следующим образом: цемент домалывали в вибрационной мельнице до удельной поверхности $320 \text{ м}^2/\text{кг}$, а предварительно раздробленный туф в щековой дробилке размалывали до удельной поверхности, соизмеримой с удельной поверхностью цемента – $350 \text{ м}^2/\text{кг}$ и превышающей ее в два раза - $700 \text{ м}^2/\text{кг}$.

Смешение всех составов (1а-6а, 1б-6б) предварительно раздельно размолотых компонентов вяжущей композиции проводили в одинаковых условиях в цилиндрическом смесителе в течение 15 мин. Из приготовленных составов формовали образцы-кубики при обеспечении

одинаковой подвижности цементного теста: расплыв малого конуса – 80мм.

Динамика изменения В/Ц отношения в вяжущих композициях различного состава приведена на рис. 2.

Анализ кривых водоцементного отношения вяжущих композиций с различными удельными поверхностями сырьевых компонентов показывает, что в составах с увеличением содержания минерального компонента – туфа, водопотребность увеличивается пропорционально увеличению содержания высокодисперсного туфа.

Кроме того, следует отметить увеличенную водопотребность в составах с высокой удельной

поверхностью 700 м²/кг, что согласуется с теоретическими положениями и накопленными экспериментальными результатами. Результаты физико-механических и технологических пока-

зателей полученных вяжущих композиций с различными удельными поверхностями приведены в табл. 3 и 4 и на рис. 3 – 6.

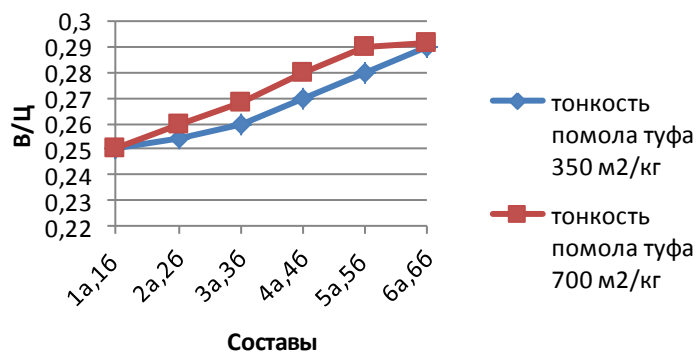


Рис. 2. Динамика изменения водоцементного отношения в вяжущих композициях различного состава

Таблица 3

Физико-механические и технологические показатели вяжущих композиций при использовании туфа с 350 м²/кг

№ сост	В/Ц	Предел прочности при сжатии, в возрасте, сут.			Нормальная пустота, НГ	Сроки схватывания	
		3	7	28		начало	конец
1a	0,250	23,00	41.00	50.20	25.6%	2ч:01 мин	2ч:46 мин
2a	0,254	24,20	42.30	51.50	25.7%	2ч:04 мин	2ч:48 мин
3a	0,260	28.50	45.10	55.30	26.0%	2ч:10 мин	2ч:57 мин
4a	0,270	19. 10	38.30	45.20	27.0%	2ч:13 мин	3ч:03 мин
5a	0,280	17.20	33.53	39.10	28.5%	2ч:16 мин	3ч:12 мин
6a	0,290	16.10	28.30	35.46	29.1%	2ч:19 мин	3ч:25 мин

Таблица 4

Физико-механические и технологические показатели вяжущих композиций при использовании туфа с 700 м²/кг

№ сост	В/Ц	Предел прочности при сжатии, в возрасте, сут.			Нормальная пустота, НГ	Сроки схватывания	
		3	7	28		начало	конец
1б	0,250	23,00	41.00	50.20	25.6%	2ч:01 мин	2ч:46 мин
2б	0,260	27,30	43.50	53.50	26.5%	2ч:04 мин	2ч:48 мин
3б	0,268	29.50	49.10	59,20	26.7%	2ч:10 мин	2ч:57 мин
4б	0,280	25.10	42.50	48.40	27.2%	2ч:13 мин	3ч:03 мин
5б	0,290	20.30	38.53	42.00	29.0%	2ч:16 мин	3ч:12 мин
6б	0,292	19.70	30.100	37.46	29.6%	2ч:19 мин	3ч:25 мин

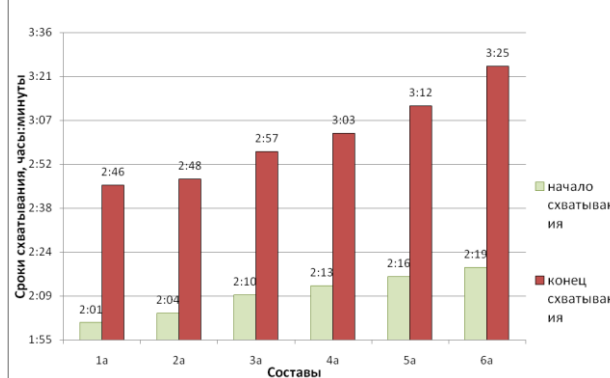
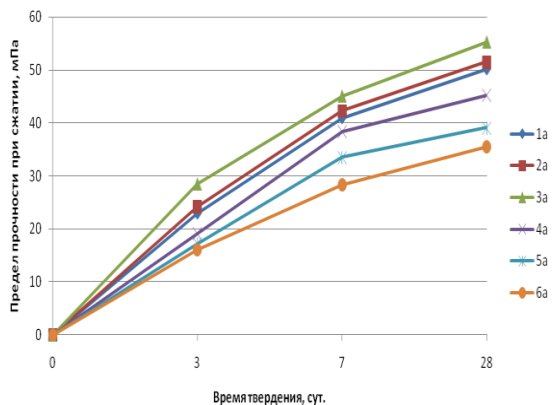


Рис. 3. Сроки схватывания вяжущих прочностей вяжущей композиций с удельной поверхностью с удельной поверхностью туфа 350 м²/кг туфа 350 м²/кг

Рис.4. Динамическое нарастание

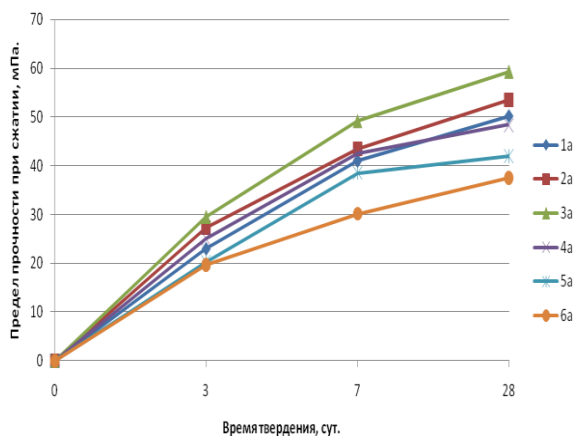


Рис.3. Сроки схватывания вяжущих прочности вяжущей композиций с удельной поверхностью с удельной поверхностью туфа 700 м²/кг туфа 700 м²/кг

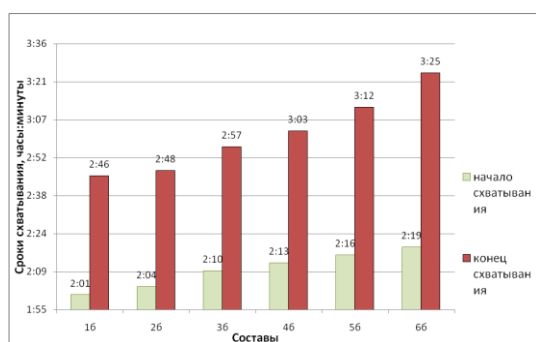


Рис.4. Динамическое нарастание

Анализируя полученные результаты, следует отметить, что наилучшими показателями обладают вяжущие композиции с удельной поверхностью цемент 350 м²/кг и туф 700 м²/кг следующего состава: содержание цемента – 90% и содержание туфа – 10% (состав 36).

Показатели предела прочности этих вяжущих композиций превосходят показатели предела прочности чистого цемента. Нормальная плотность этих составов незначительно увеличивается за счёт высокой дисперсности туфового порошка.

Сроки сдвигаются в сторону увеличения – до 11 минут, а промежуток сроков схватывания сохраняется в пределах 50 минут.

Таким образом, полученные композиционные вяжущие с содержанием туфа 10 % и удельной поверхности 700 м²/кг можно рекомендовать для дальнейших исследований при получении композиционных вяжущих.

**Работа выполнена в рамках реализации Программы стратегического развития БГТУ им. В.Г. Шухова на 2012–2016 годы.*

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. <http://www.yamamacement.com/> شركة اسمنت اليمامة المملكة العربية السعودية الموقع الرسمي

2. <http://www.usgbc.org/Default.aspx> The U.S. Green Building Council is committee.

3. اهمية استخدام البوزلان المحلية في منتجات مواد البناء في المباني الخضراء الدكتور محمد الحاج حسين مجلة المهندس الاردني 81-42-2011

4. Hashmite kingdom of Jordan natural resources authority Geological survey administration Mineral Status and Future Opportunity

5. Russian Academy of Architecture and building Sciences BELGOROD state Technological University named after V.G Shukhov Lesovik V.S GEONICS SUBJECT AND OBJECTIVES Belgorod 2012.

6. Лесовик Р.В., Ковтун М.Н., Алфимова Н.И. Комплексное использование отходов обогащения ЮАР // Промышленное и гражданское строительство. 2007. № 8. С. 30–31.

7. Перспективы использования вулканического песка Эквадора для производства мелкозернистых бетонов / В.В. Строкова, Н.И. Алфимова, Ф.А. Наваретте Велос, М.С. Шейченко // Строительные материалы. 2009. № 2. С. 32–33.

8. Алфимова Н.И., Черкасов В.С. Перспективы использования отходов производства керамзита в строительном материаловедении // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2010. №3. С. 21–24.

9. Шейченко М.С., Лесовик В.С., Алфимова Н.И. Композиционные вяжущие с использованием высокомагнезиальных отходов Ковдорского месторождения // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2011. №1. С. 10–14.

10. К проблеме повышения эффективности композиционных вяжущих / В.С. Лесовик, Н.И. Алфимова, Е.А. Яковлев, М.С. Шейченко // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. №1. 2009. С. 30–33.

11. Алфимова Н.И., Вишневская Я.Ю., Трунов П.В. Влияние сырья вулканического происхождения и режимов твердения на активность композиционных вяжущих // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2011. №1. С. 52–55.

12. Влияние способа помола на энергоёмкость изготовления и качественные характеристики композиционных вяжущих / Н.И. Алфимова П.В. Трунов, Я.Ю. Вишневская, Е.И. Евтушенко // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2012. №4. С. 37–39.

13. Применение отходов КМА при производства сухих строительных смесей / Г.Г. Ильинская, В.С. Лесовик, Л.Х. Загороднок, А.С. Коломацкий // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2012. №4. С. 37–39.

ственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2012. № 4. С. 15–19.

14. Получение композиционных вяжущих в различных помольных агрегатах / А.В. Шкарин, Л.Х. Загороднюк, А.Ю. Щекина, И.Г. Лугинина // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2012. № 4. С. 53–57.

15. Композиционное вяжущее с использованием кремнистых пород / В.С. Лесовик, В.В. Строкова, А.Н. Кривенкова, Е.И. Ходыкин // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2009. – №1. С.25–27.

16. Лесовик В.С., Жерновой Ф.Е., Глаголев Е.С. Использование природного перлита в составе смешанных цементов // Строительные материалы. 2009. № 6. С. 84–87.

17. Сулейманов А.Г., Лесовик В.С. Эффективное композиционное вяжущее для мелких стеновых блоков // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2009. № 1. С. 95–96.

18. Лесовик В.С., Агеева М.С., Иванов А.В. Гранулированные шлаки в производстве композиционных вяжущих // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2011. № 3. С. 29–32.

19. Использование композиционных вяжущих для повышение долговечности брусчатки бетонной / В.С. Лесовик, М.С. Агеева, Ю.В. Денисова, А.В. Иванов // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2011. № 4. С. 52–54.

20. Шкарин А.В., Загороднюк Л.Х., Ильченко В.С. К вопросу оценки качества смешения сухих строительных смесей // Материалы и технологии XXI века. Теория и практика: сб. ст. X Междунар. науч.-техн. конф. – Пенза, 2012. – С. 51–53.

21. Шкарин А.В., Загороднюк Л.Х., Ильченко В.С. Пневматические смесители для приготовления сухих строительных смесей // Материалы и технологии XXI века. Теория и практика: сб. ст. X Междунар. науч.-техн. конф. – Пенза, 20