

Влияние некоторых минеральных добавок на свойства мелкозернистых бетонов

Г.В. Несветаев, Г.А. Козлов, А.В. Козлов, И.А. Филонов

Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону

Аннотация: Представлены результаты исследований влияния минеральных добавок природного и техногенного происхождения на некоторые свойства мелкозернистых бетонов при введении от 10 до 25% от массы цемента минеральной добавки взамен либо части цемента при увеличении величины В/Ц, либо части песка при неизменном значении величины В/Ц. Выявлено незначительное, до 3%, изменение средней плотности бетона. Снижение начального модуля упругости от 4 до 14% зафиксировано при замене части цемента, при этом повышение предела прочности на растяжение при изгибе, в зависимости от дозировки, составило до 26% (маршаллит) и 6% (шлам химводоочистки), а снижение предела прочности на сжатие составило от 10 до 22%. При замене части песка зафиксировано повышение до 10% начального модуля упругости, предела прочности при изгибе от 19 до 38% (маршаллит) и до 11% (шлам химводоочистки). Повышение предела прочности на сжатие, в зависимости от вида и дозировки добавки составило от 8 до 20%. Существенного влияния добавок на характер пористости цементного камня не выявлено.

Ключевые слова: минеральная добавка, мелкозернистый бетон, предел прочности, модуль упругости, усадка, водопоглощение

Для улучшения технологических свойств бетонных смесей и строительно-технических свойств бетонов, в т.ч. мелкозернистых (МЗБ), все шире используются минеральные модификаторы (минеральные добавки по ГОСТ Р 56592-2015) природного или техногенного происхождения, как правило, не относящиеся к активным минеральным добавкам. По данным [1], в зависимости от вида МД при ее содержании 10% отмечается рост водопотребности цементных систем от 26 до 41%, коэффициента водоотделения от 12 до 42%, а индекс эффективности по прочности на



сжатие по ГОСТ Р 56178-2014 составил от 0,86 до 1,2. По данным [2] высокая эффективность обеспечивается при введении МД по технологии ВНВ, при этом рост активности при сжатии и изгибе достигает 66%. В [3] разработаны композиты на полиминеральном вяжущем с применением обогащенных алюмосиликатов, при этом повышение предела прочности составило до 49% и до 46% при сжатии и изгибе соответственно. По [4] при введении 5% известняковой муки в состав бетонной смеси отмечен рост прочности на сжатие до 31%. Согласно [5], цементный камень характеризуется меньшим сцеплением с карбонатными породами в сравнении с гранитом. Однако по данному вопросу имеются данные, показывающие противоположные результаты [6-8]. По данным [9], при введении в состав бетона до 10% МД в виде отходов ГОК взамен части цемента получен индекс активности 0,57, а взамен части песка – 1,75. По данным [10], введение в состав МЗБ взамен части песка наполнителя из отходов камнедробления позволило получить самоуплотняющуюся смесь при незначительном повышении прочности. По данным [11], введение в состав бетона 20% кварцевого порошка взамен части песка в сочетании с другими МД позволило получить прирост прочности при изгибе примерно на 6%. По данным [12], введение взамен части цемента до 15% МД из вторичных кварцитов, обеспечил прирост прочности МЗБ до 15%. По данным [13], при введении до 20% МД отмечено повышение предела прочности на сжатие, в зависимости от вида МД, до 47%, при изгибе до 66%, при этом известняковая мука обеспечила соответственно повышение до 5% и до 24% соответственно, а максимальные результаты показали микрокремнезем и метакаолин. По данным [14], при использовании опоки получено повышение предела прочности на сжатие до 37%, а при изгибе до 2 раз. По данным [15], применение карбонатсодержащего шлама химводоочистки (ШХВО) взамен части цемента привело при содержании

ШХВО 10% к снижению предела прочности на сжатие на 10% и повышению НГ с 0,27 до 0,29, при этом с применением ШХВО получен качественный СУБ. По данным [16] применение органоминерального модификатора на основе золошлаковых отходов обеспечило снижение расхода цемента от 8 до 18%. Таким образом, в зависимости от вида МД и способа введения (взамен части цемента, т.е. при повышении В/Ц, либо взамен части песка, т.е. при неизменном В/Ц), зафиксированы: рост водопотребности до 41%, индекса водоотделения до 42%, изменения индекса активности на сжатие от 0,57 до 1,75, при изгибе до 2,0. В данной работе представлены результаты оценки влияния МД (маршаллит и ШХВО) на свойства МЗБ. Исследования выполнены с применением ПЦ ЦЕМ I 52,5 Н с величиной НГ 25,75%, песка с $M_k = 2,83$ и пустотностью 44,4%. Показатели МЗБ состава Ц/П = 1:2 при постоянной величине В/Ц определены на образцах 40x40x160 мм после 28 сут твердения в НУ. Существенного влияния МД на водопотребность смесей не выявлено, поскольку водопотребность маршаллита по методике Баженова Ю.М. составила 27%, а ШХВО – 33%. Отмечено повышение водоотделения в смеси с 10% (взамен части цемента) ШХВО до 3,3% (эталон – 2%), 10% (взамен части цемента) маршаллита – до 3,8%.

На рис. 1 представлена зависимость относительной средней плотности МЗБ (относительно эталонного состава без МД) от содержания и вида МД. Из представленных на рис.1 данных, очевидно, что введение маршаллита до 25% от массы цемента в состав МЗБ вместо портландцемента или песка оказывает незначительное (не более 3%), не имеющее практического значения, влияние на среднюю плотность бетона. Поскольку истинная плотность маршаллита выше, чем песка, но ниже, чем цемента, замена части цемента закономерно приводит к снижению средней плотности МЗБ, замена части песка – к увеличению. Еще меньшее влияние выявлено при применении ШХВО.

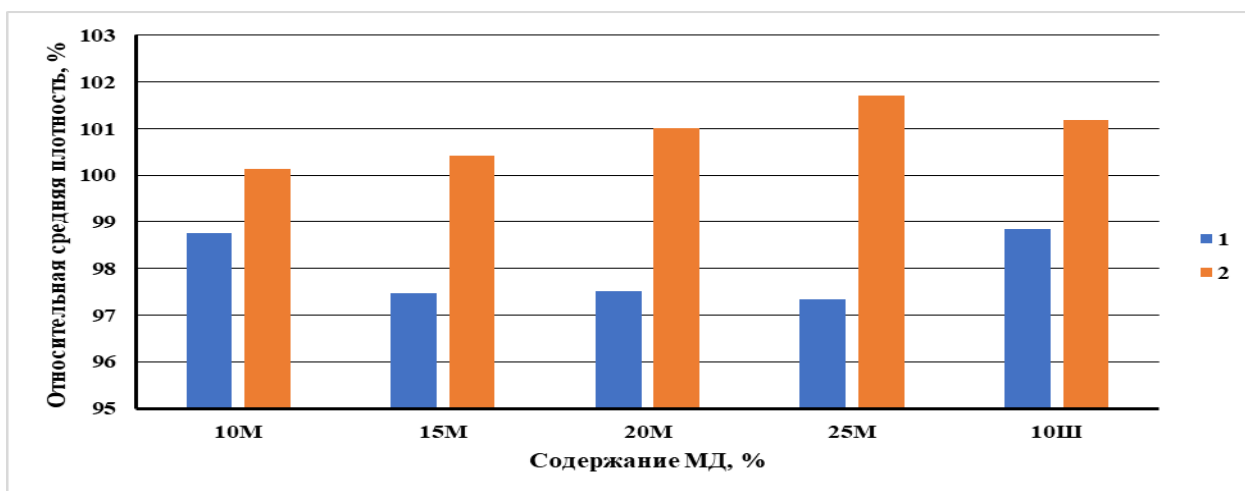


Рис. 1. - Зависимость относительной средней плотности МЗБ от содержания и вида МД

1,2 – соответственно МД заменяет часть цемента или часть песка;
10...25 – содержание МД, % от массы цемента, М – маршаллит,
Ш – шлам химводоочистки

На рис. 2 представлена зависимость относительного начального модуля упругости мелкозернистых бетонов $E_{0,МД}/E_{0,Э}$ от содержания и вида МД.

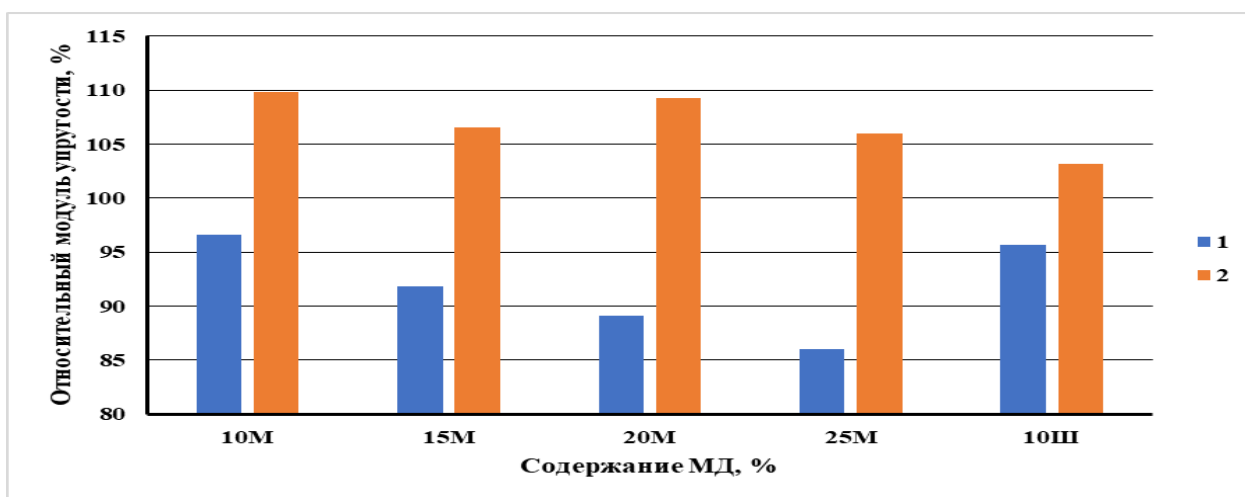


Рис. 2. - Зависимость относительного начального модуля упругости МЗБ от содержания и вида МД

1,2 – см. пояснения к рис.1

Из представленных на рис. 2 данных очевидно, что при введении МД взамен части цемента отмечается снижение начального модуля упругости от 4 до 14%, что связано с уменьшением предела прочности на сжатие МЗБ при введении МД взамен части цемента, т.е. с увеличением величины В/Ц. При введении МД взамен части песка отмечается рост начального модуля упругости МЗБ, что связано с некоторым повышением предела прочности на сжатие при введении МД при неизменном В/Ц. Этот вывод иллюстрирует рис. 3, на котором представлена зависимость начального модуля упругости МЗБ от предела прочности на сжатие.

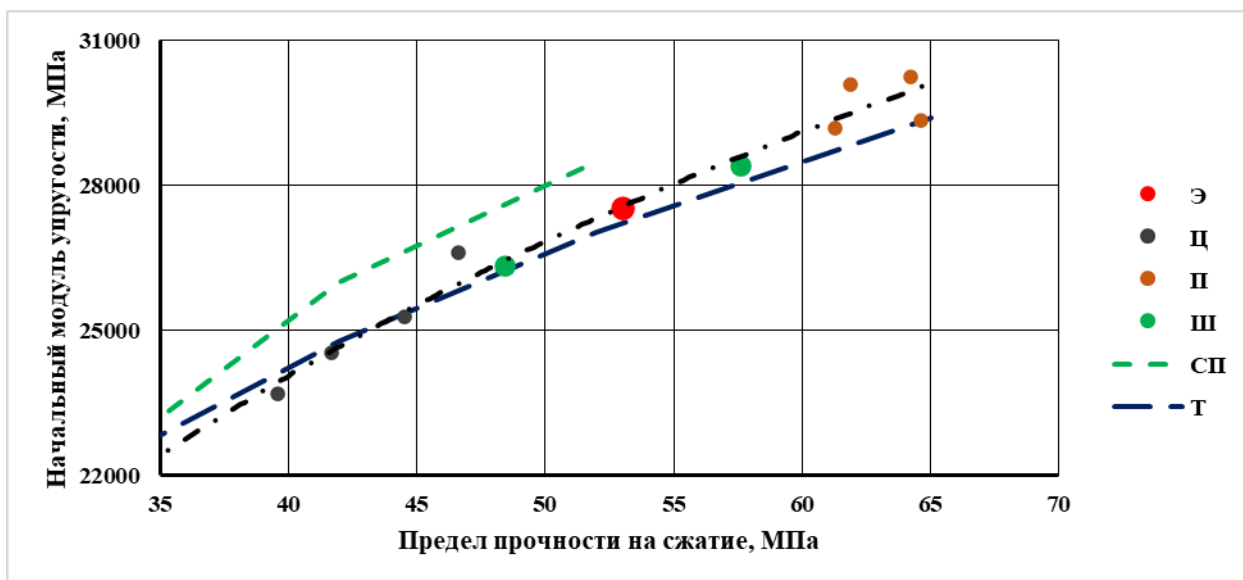


Рис. 3. - Зависимость начального модуля упругости МЗБ от предела прочности на сжатие

Э – эталонный состав (МД=0); Ц, П – соответственно, МД заменяет часть цемента или песка; Ш – шлам ХМО; СП – по СП 63.13330.2018 для МЗБ; Т –

по формуле
$$E_0 = k \cdot \frac{0,05 \cdot R_{pr} + 57}{1 + \frac{29}{3,8 + R_{pr}}}, \text{ ГПа [17] при } k = 0,75 \text{ (МЗБ)}$$

Зависимость начального модуля упругости исследованных МЗБ, независимо от их состава описывается зависимостью:

$$E_0 = 12450 \cdot \ln R - 21850, \quad (1)$$

где E_0 – начальный модуль упругости МЗБ, МПа,

R – предел прочности МЗБ на сжатие, МПа,

при величине показателя достоверности аппроксимации 0,97, что свидетельствует о практически инвариантной к остальным факторам зависимости $E_0 = f(R)$.

На рис. 4 представлена зависимость относительного предела прочности на растяжение при изгибе исследованных МЗБ $R_{f,MD}/R_{f,Э}$ от содержания и вида МД.

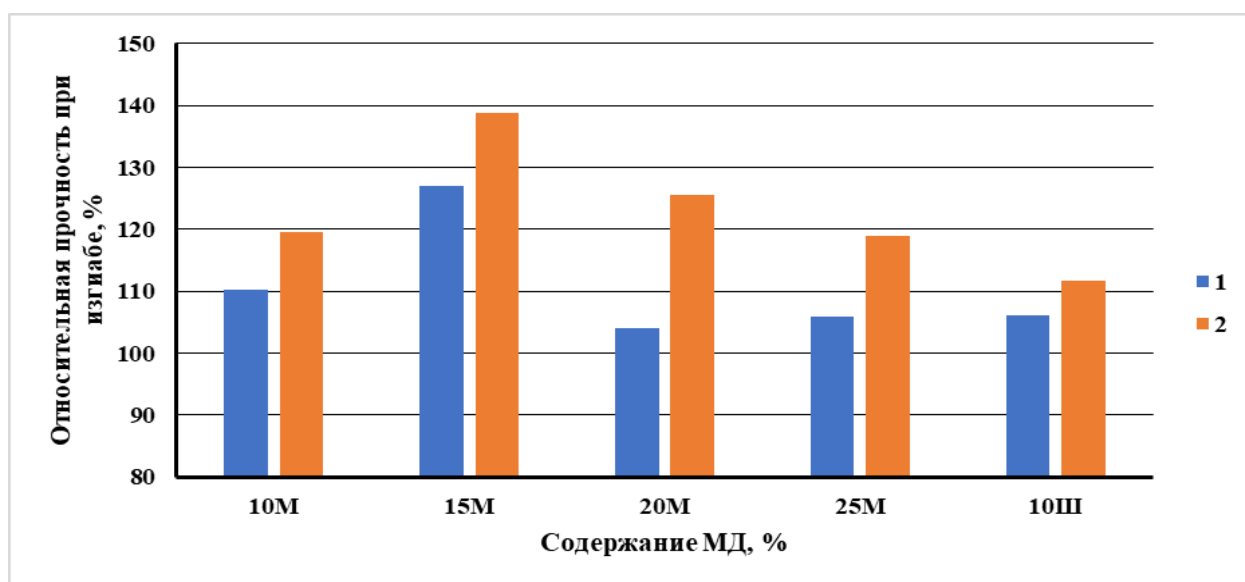


Рис. 4. - Зависимость относительного предела прочности на растяжение при изгибе МЗБ от содержания и вида МД

1,2 – см. пояснения к рис.1

Из представленных на рис. 4 данных, очевидно, что при введении маршаллита в состав МЗБ взамен цемента, т.е. с повышением величины В/Ц повышается предел прочности на растяжение при изгибе, в зависимости от дозировки, от 3 до 26%, а при введении взамен части песка, т.е. при

неизменном значении В/Ц от 19 до 38%, при этом оптимальная дозировка маршаллита составляет около 15% от массы цемента. ШХВО при дозировке 10%, в зависимости от способа введения, повышает предел прочности на растяжение при изгибе от 6 до 11%.

На рис. 5 представлено соотношение предела прочности МЗБ при изгибе и сжатии, а в табл. 1 - соответствующие уравнения регрессии.

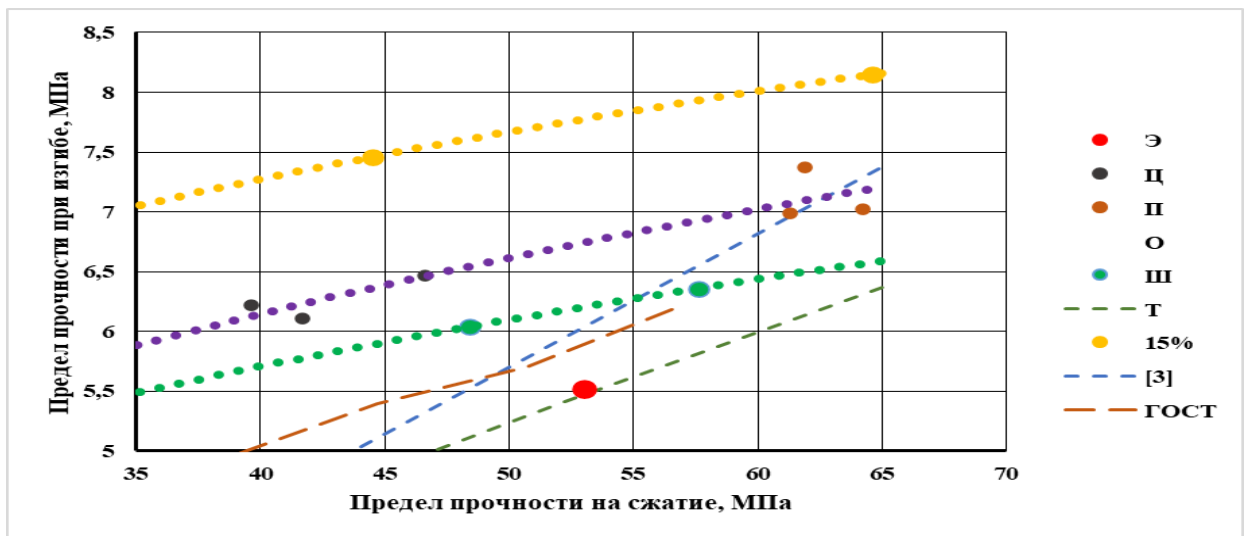


Рис. 5. - Соотношение предела прочности при изгибе и сжатии МЗБ

Э – эталонный состав (МД=0); Ц, П – соответственно МД заменяет часть цемента или песка; Ш – шлам ХМО; Т – по формуле $R_f = 0,29 \cdot R^{0,74}$, [17],

[3] – по данным [3], ГОСТ – по ГОСТ Р 55224-2020

Таблица №1

Соотношение $R_f = f(R)$ для исследованных МЗБ

№	МЗБ	Уравнение
1	Эталон без МД	$R_f = 0,29 \cdot R^{0,74}$ [17]
2	Маршаллит 10,20,25% по схеме введения 1 и 2	$R_f = 1,83 \cdot R^{0,33}$, $R^2 = 0,9$
3	Маршаллит 15% по схеме введения 1 и 2	$R_f = 3,03 \cdot R^{0,24}$
4	ШХВО 10% по схеме введения 1 и 2	$R_f = 1,91 \cdot R^{0,3}$

Анализ приведенных в табл.1 уравнений показывает, что в диапазоне прочности на сжатие от 45 до 65 МПа ШХВО обеспечивает повышение предела прочности при изгибе от 4 ($R = 65$ МПа) до 22% ($R = 45$ МПа). Маршаллит при дозировке 10, 20, 25% обеспечивает значения от 13 до 31%, а при оптимальной дозировке 15% от 38 до 54%.

На рис. 6 представлена зависимость относительного предела прочности на сжатие МЗБ $R_{МД}/R_Э$ от содержания и вида МЗБ.

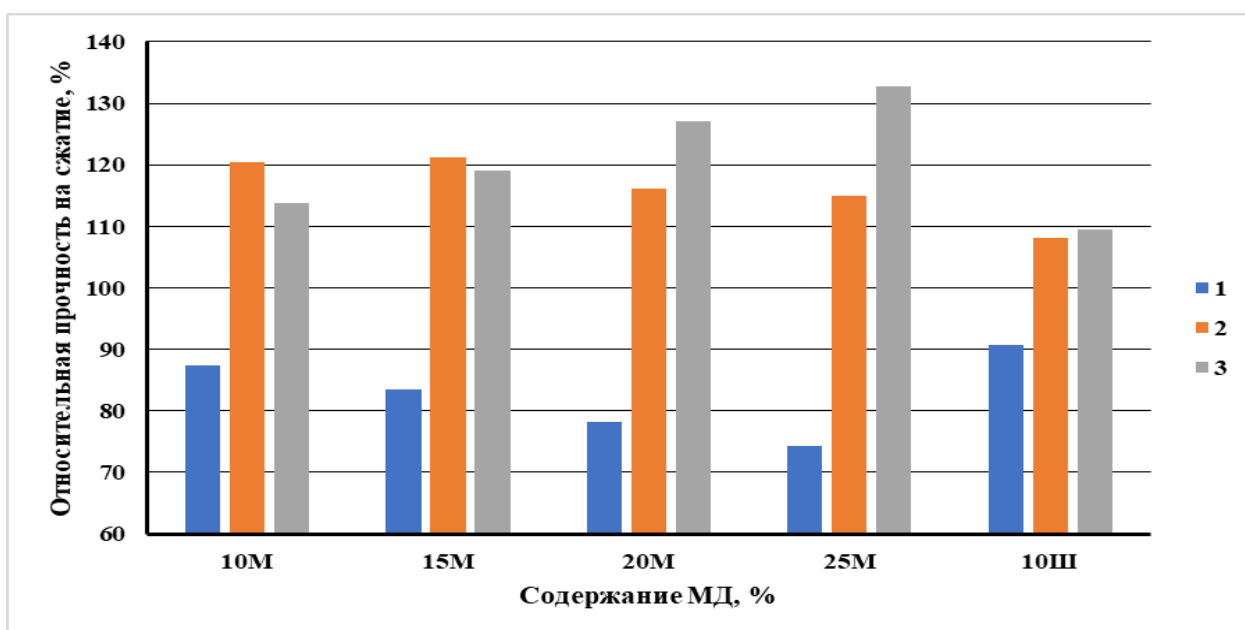


Рис. 6. - Зависимость относительного предела прочности на сжатие МЗБ от содержания и вида МЗБ

1,2 – см. пояснения к рис.1; 3 – с учетом изменения величины В/Ц при введении МД взамен части цемента (без учета влияния водоотделения на «истинную» величину В/Ц)

Из представленных на рис.6 данных, очевидно, что введение МД взамен части цемента без корректировки расхода воды, т.е. при увеличении величины В/Ц закономерно приводит к снижению предела прочности на сжатие на 10-22%. При введении МД взамен части песка при неизменном

значении В/Ц отмечается повышение предела прочности МЗБ на сжатие на 8-20%. При учете изменения величины В/Ц фиксируется повышение предела прочности МЗБ, т.е. повышение активности смешанного вяжущего ПЦ+МД.

На рис. 7 представлены данные об относительном водопоглощении по объему МЗБ после насыщения в течение 96 ч.

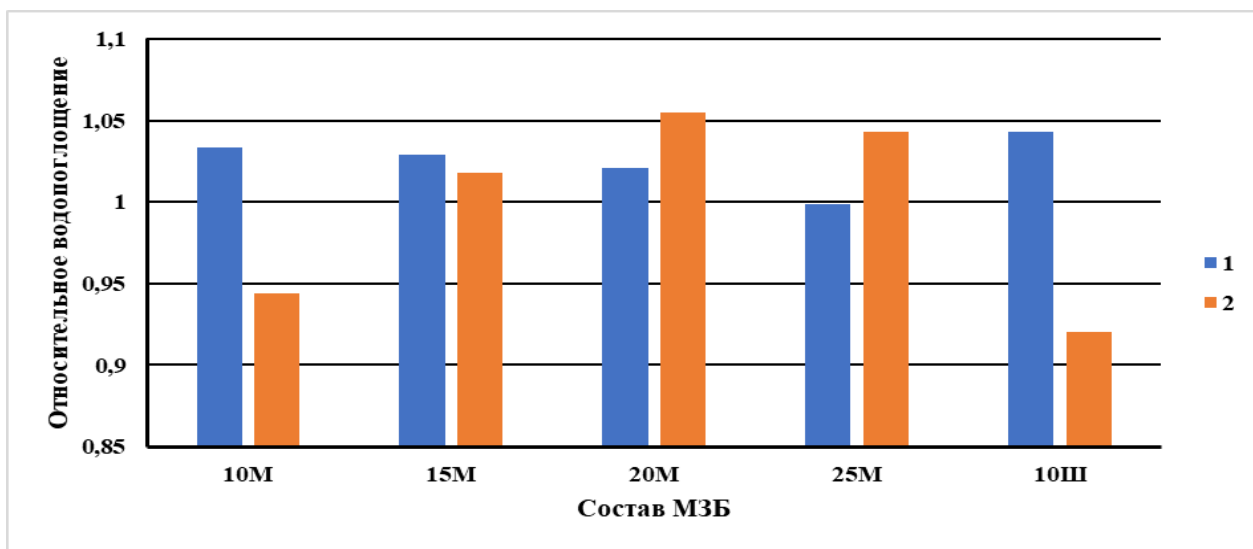


Рис. 7. - Относительное водопоглощение МЗБ по объему от содержания и вида МЗБ
1,2 – см. пояснения к рис.1

Из представленных на рис. 7 данных очевидно, что при введении 10% МД взамен части песка отмечается уменьшение открытой пористости МЗБ на 6-8%, что в принципе может обеспечить незначительное, порядка 5%, повышение морозостойкости бетона, что вряд ли имеет практическое значение.

На рис. 8 представлена зависимость усадки МЗБ от величины В/Ц при содержании маршаллита 15%. Очевидно, что маршаллит не оказывает положительного влияния на усадку МЗБ. Относительно бездобавочного эталона повышение усадки составило примерно 15%.

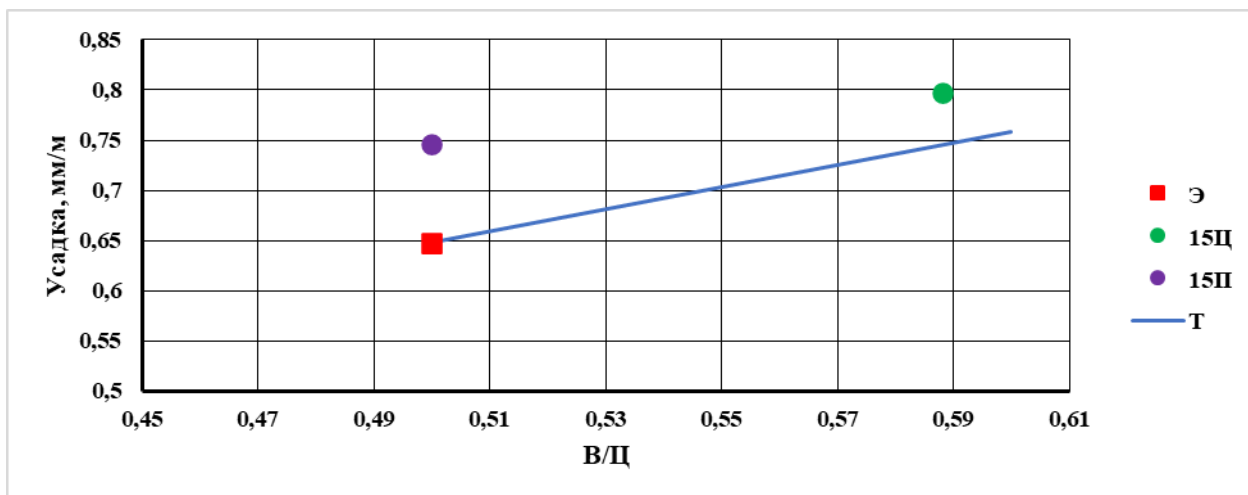


Рис. 8. - Зависимость усадки МЗБ от величины В/Ц

Э – эталонный состав; 15Ц – замена 15% цемента на маршаллит; 15П – 15% маршаллита от массы цемента вместо части песка; Т – теоретическая зависимость, учитывающая влияние В/Ц на усадку ($2 \frac{В}{Ц} + 0,18$) [17]

Таким образом, в результате исследований выявлена перспективность применения исследованных добавок в качестве МД по ГОСТ Р 56592, основной эффект которых проявляется в бетоне в виде повышения предела прочности на растяжение при изгибе, в большей степени для маршаллита и в меньшей степени для ШХВО при относительно невысоком росте предела прочности на сжатие.

Для оценки экономической эффективности рассмотрим следующий пример: запроектировать состав тяжелого бетона для дорожных и аэродромных покрытий класса по прочности на сжатие не ниже В30, по прочности на растяжение при изгибе B_{cb} 4,0. Принимаем: используется в качестве эталона портландцемент с активностью по ГОСТ 310.4 $R_{ц} = 50,2$ МПа, активностью при изгибе по ГОСТ 310.4 $R_{ц,и} = 5,9$ МПа. При введении маршаллита в количестве 15% от массы цемента взамен части песка, принимаем повышение активности цемента при изгибе 25%, т.е. активность $R_{ц,и,м} = 1,25 \cdot 5,9 = 7,38$ МПа, активность при сжатии $R_{ц} = 1,1 \cdot 50,2 = 55,2$

МПа. Для ШХВО соответственно $R_{ц,и,м} = 1,1 \cdot 5,9 = 6,49$ МПа, $R_{ц} = 1,05 \cdot 50,2 = 52,7$ МПа. Проектируемый предел прочности бетона на сжатие принимаем $R = B30+12 = 42$ МПа (ГОСТ Р 57345, EN 206-1:2013). Проектируемый предел прочности бетона на растяжение при изгибе принимаем (ГОСТ 18105, коэффициент вариации 16%) $R_f = 1,43 \cdot 4 = 5,72$ МПа.

Расчетные формулы представлены в табл. 2.

Таблица №2

Расчетные формулы [18] для определения требуемой величины В/Ц бетона по показателям предела прочности на сжатие и растяжение при изгибе

Показатель	Формулы	
	Ф.1	Ф.2
Предел прочности на сжатие	$R = k \cdot a_1 \cdot R_{ц} \cdot \left(\frac{Ц}{В} + b\right)$	$R = k \cdot \frac{0,34 \cdot R_{ц}}{\left(\frac{В}{Ц}\right)^{1,39}}$
Предел прочности на растяжение при изгибе	$\frac{В}{Ц} = \frac{0,42 \cdot R_{ц,и}}{R_f + 0,084 \cdot R_{ц,и}}$	$\frac{Ц}{В} = \frac{R_f}{0,39 \cdot R_{ц,и} (1 - 0,025 V_B)} + 0,1$

Примечание: $k = 0,8$ – учитывает влияние 4% ВВ

Результаты расчета представлены в табл. 3.

Таблица №3

Расчетный расход цемента, кг/м³ для обеспечения требуемых показателей прочности бетона

Расход цемента ¹		Без МД	15 % маршаллита	10% ШХВО
Для обеспечения R	Ф.1	382	355	368
	Ф.2	382	357	368
Для обеспечения R _f	Ф.1	427	348	393
	Ф.2	487	393	445

Примечания: 1 – расход воды 170 л/м³, вовлеченный воздух 4%

По результатам расчета очевидно:

- минимальный расход цемента без применения маршаллита для получения бетона В30, В_{тб} 4 (без учета морозостойкости) составляет 427 кг/м³;
- минимальный расход цемента с применением 15% маршаллита взамен части песка для получения бетона В30, В_{тб} 4 составляет 355 кг/м³, ШХВО – 393 кг/м³;
- расчетное снижение расхода цемента составляет при применении маршаллита $427 - 355 = 72$ кг/м³, или 17%, ШХВО - $427 - 393 = 34$ кг/м³, или 8%, что хорошо согласуется с [16].

Заключение

При введении исследованных МД в состав МЗБ взамен части цемента или песка отмечается незначительное, до 3%, изменение средней плотности бетона. При введении МД взамен части цемента отмечается снижение начального модуля упругости от 4 до 14%, а при введении МД взамен части песка отмечается рост начального модуля упругости МЗБ до 10%. При введении МД в состав МЗБ взамен части цемента повышается предел прочности на растяжение при изгибе, в зависимости от дозировки, до 26% (маршаллит) и 6% (ШХВО), а при введении взамен части песка повышение предела прочности при изгибе составляет от 19 до 38% (маршаллит) и до 11% (ШХВО). При введении МД взамен части цемента снижение предела прочности МЗБ на сжатие составляет от 10 до 22%. При введении МД взамен части песка отмечается повышение предела прочности МД на сжатие на 8-20%. Маршаллит не оказывает положительного влияния на усадку бетона. Существенного влияния МД на характер пористости цементного камня не выявлено.

Литература

1. Низина Т.А., Балыков А.С., Коровкин Д.И. и др. Оценка физико-химической эффективности минеральных добавок различного состава в

- цементных системах // Эксперт: теория и практика. 2021. № 5(14). С. 41-47. DOI: 10.51608/26867818_2021_5_41.
2. Аласханов А.Х., Таймасханов Х.Э., Сайдумов М.С., Муртазаева Т.С.А. Современные подходы к разработке многокомпонентных вяжущих с использованием техногенного сырья // Вестник ГГНТУ. Технические науки. 2022. Т. 18. № 1(27). С. 63-70.
DOI: 10.34708/GSTOU.2022.50.97.008.
3. Лесовик В.С., Федюк Р.С., Лисейцев Ю.Л., Панарин И.И., Воронов В.В. Влияние состава на свойства и строение модифицированных цементных композитов // Строительные материалы. 2022. №9. С. 39-49.
DOI: doi.org/ 10.3 16659/0585-430x-2022-806-9-39-49.
4. Макаева А.А., Тихонова Т.В., Голубева Е.П., Макаева Д.Р. Влияние минеральных наполнителей на свойства тяжелого бетона // Проблемы и перспективы развития строительства, теплогазоснабжения и энергообеспечения: Материалы VIII Национальной конференции с международным участием, Саратов, 15–16 ноября 2018 года / Под редакцией Ф.К. Абдразакова. Саратов: Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова, 2018. С. 221-223.
5. Айменов А. Ж., Халим А.Х., Альвейн Я. Карбонатные породы как заполнители и наполнители в цементах, цементных растворах и бетонах // Фундаментальные основы строительного материаловедения: Сборник докладов Международного онлайн-конгресса, Белгород, 06–11 октября 2017 года. Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2017. С. 775-780.
6. Несветаев Г. В., Л. К. Ву Модель для оценки сцепления цементного камня с заполнителем по величине предела прочности бетона при осевом растяжении // Интернет-журнал Науковедение. 2017. Т. 9. № 3.
URL: naukovedenie.ru/PDF/11TVN317.pdf.
-

7. Bertacchi P. Adherence Entre Aggregate et Ciment et son Influence sur les Caracteristiques des Betons // Rev. des Mater. de Const. 1970. № 659 – 660. pp. 243-249.
8. Журавлёв В.Ф., Штейерт Н.П. Сцепление цементного камня с различными материалами // Цемент. 1952. № 5. С. 17-19.
9. Журковский М.Е., Блазнов А.Н., Жарова И.К., Верещагин П.В. Исследование прочности образцов бетона с минеральными добавками // Технологии и оборудование химической, биотехнологической и пищевой промышленности: Материалы XI Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием, Бийск, 23–25 мая 2018 года. Бийск: ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова» (АлтГТУ), 2018. С. 152-157.
10. Касторных Л. И., Тароян А.Г., Усепян Л.М. Влияние отсева камнедробления и минерального наполнителя на характеристики мелкозернистых самоуплотняющихся бетонов // Инженерный вестник Дона. 2017. № 3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2017/4340.
11. Александрова О.В., Нгуен Д.В.К., Булгаков Б.И., Петропавловская В.Б. Влияние кварцевого порошка и минеральных добавок на свойства высокопрочных бетонов/ // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Материалы. Конструкции. Технологии. 2020. № 3. С. 7-15. DOI: 10.25686/2542-114X.2020.3.7.
12. Гувалов А. А., Аббасова С.И. Влияние термического продукта вторичных кварцитов на свойства цементных систем // Технологии бетонов. 2016. № 11-12(124-125). С. 37-39.
13. Петров И. В., Красникова Н.М. Исследование эффективности различных минеральных наполнителей для состава мелкозернистого бетона // Актуальные вопросы современной науки: Сборник статей по

- материалам XII международной научно-практической конференции. В 3-х частях, Томск, 23 мая 2018 года. Томск: Общество с ограниченной ответственностью Дендра, 2018. С. 139-144.
14. Шляхова Е. А., Шляхов М.А. Влияние вида минеральной добавки микронаполнителя на свойства мелкозернистого бетона // Инженерный вестник Дона. 2015. № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2015/3394.
15. Лазаренко О. В., Шпилевская Н.Л. Применение карбонатосодержащего шлама химической водоочистки в композиционном вяжущем для самоуплотняющегося бетона // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. Строительство. Прикладные науки. 2016. № 16. С. 55-62.
16. Шляхова Е.А., Егорочкина И.О. Комплексная органоминеральная добавка на основе промышленных отходов // Инженерный вестник Дона. 2022. №10. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n10y2022/7942.
17. Несветаев Г.В. Бетоны: учебно-справочное пособие. 2-е изд., перераб. и доп. Ростов-на-Дону: Феникс, 2013. 381 с.
18. Несветаев Г. В., Корянова Ю.И., Иванчук Е.В. Проектирование состава бетона на соответствие нескольким показателям качества // Электронный сетевой политематический журнал "Научные труды КубГТУ". 2021. № 6. С. 1-10.

References

1. Nizina T.A., Baly`kov A.S., Korovkin D.I. i dr. E`kspert: teoriya i praktika. 2021. № 5(14). pp. 41-47. DOI: 10.51608/26867818_2021_5_41.
2. Alasxanov A.X., Tajmasxanov X.E., Sajdumov M.S., Murtazaeva T.S.A. Vestnik GGNTU. Texnicheskie nauki. 2022. T. 18. № 1(27). pp. 63-70. DOI: 10.34708/GSTOU.2022.50.97.008.

3. Lesovik V.S., Fedjuk R.S., Lisejcev Yu.L., Panarin I.I., Voronov V.V. Stroitel'ny`e materialy`. 2022. №9. pp. 39-49. DOI: doi.org/ 10.316659/0585-430x-2022-806-9-39-49.
 4. Makaeva A.A., Tixonova T.V., Golubeva E.P., Makaeva D.R. Vliyanie mineral'ny`x napolnitelej na svoystva tyazhelogo betona [The effect of mineral fillers on the properties of heavy concrete]. Problemy` i perspektivy` razvitiya stroitel'stva, teplogazosnabzheniya i e`nergoobespecheniya: Materialy` VIII Nacional'noj konferencii s mezhdunarodny`m uchastiem, Saratov, 15–16 noyabrya 2018 goda. Pod redakciej F.K. Abdrazakova. Saratov: Saratovskij gosudarstvenny`j agrarny`j universitet im. N.I. Vavilova, 2018. pp. 221-223.
 5. Ajmenov A. Zh., Xalim A.X., Al'vejn Ya. Karbonatny`e porody` kak zapolniteli i napolniteli v cementax, cementny`x rastvorax i betonax [Carbonate rocks as fillers and files in cements, cement mortars and concretes]. Fundamental'ny`e osnovy` stroitel'nogo materialovedeniya: Sbornik dokladov Mezhdunarodnogo onlajn-kongressa, Belgorod, 06–11 oktyabrya 2017 goda. Belgorod: Belgorodskij gosudarstvenny`j tekhnologicheskij universitet im. V.G. Shuxova, 2017. pp. 775-780.
 6. Nesvetaev G. V., L. K. Vu. Internet-zhurnal Naukovedenie. 2017. T. 9. № 3. URL: naukovedenie.ru/PDF/11TVN317.pdf.
 7. Bertacchi P. Rev. des Mater. de Const. 1970. № 659 – 660. pp. 243-249.
 8. Zhuravlyov V.F., Shtejert N.P. Cement. 1952. № 5. pp. 17-19.
 9. Zhurkovskij M.E., Blaznov A.N., Zharova I.K., Vereshhagin P.V. Issledovanie prochnosti obrazczov betona s mineral'ny`mi dobavkami [Study of the strength of concrete sample with mineral additives]. Texnologii i oborudovanie ximicheskoy, biotexnologicheskoy i pishhevoj promy`shlennosti: Materialy` XI Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii studentov, aspirantov i molody`x ucheny`x s mezhdunarodny`m
-

- uchastiem, Bijsk, 23–25 maya 2018 goda. Bijsk: FGBOU VPO «Altajskij gosudarstvenny`j texnicheskij universitet im. I.I. Polzunova» (AltGTU), 2018. P. 152-157.
10. Kastorny`x L. I., Taroyan A.G., Usepyan L.M. Inzhenernyj vestnik Dona. 2017. № 3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2017/4340.
11. Aleksandrova O.V., Nguen D.V.K., Bulgakov B.I., Petropavlovskaya V.B. Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo texnologicheskogo universiteta. Seriya: Materialy`. Konstrukcii. Texnologii. 2020. № 3. pp. 7-15. DOI: 10.25686/2542-114X.2020.3.7.
12. Guvalov A. A., Abbasova S.I. Texnologii betonov. 2016. № 11-12(124-125). pp. 37-39.
13. Petrov I. V., Krasinikova N.M. Issledovanie e`ffektivnosti razlichny`x mineral`ny`x napolnitelej dlya sostava melkozernistogo betona [Investigation of the effectiveness of various mineral fillers for the composition of fine-grained concrete]. Aktual`ny`e voprosy` sovremennoj nauki: Sbornik statej po materialam XII mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. V 3-x chastyax, Tomsk, 23 maya 2018 goda. Tomsk: Obshhestvo s ogranichennoj otvetstvennost`yu Dendra, 2018. pp. 139-144.
14. Shlyaxova E. A., Shlyaxov M.A. Inzhenernyj vestnik Dona. 2015. № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2015/3394.
15. Lazarenko O. V., Shpilevskaya N.L. Vestnik Poloczskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya F. Stroitel`stvo. Prikladny`e nauki. 2016. № 16. pp. 55-62.
16. Shlyaxova E.A., Egorochkina I.O. Inzhenernyj vestnik Dona. 2022. №10. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n10y2022/7942.
-



17. Nesvetaev G.V. Betony: uchebno-spravochnoe posobie [Concretes: educational and reference manual]. 2-e izd., pererab. i dop. Rostov-na-Donu: Feniks, 2013. 381 p.
18. Nesvetaev G. V., Koryanova Yu.I., Ivanchuk E.V. Elektronnyj setevoj politematicheskij zhurnal "Nauchny`e trudy` KubGTU". 2021. № 6. pp. 1-10.