

DOI: 10.34031/2071-7318-2025-10-7-20-32

Кайс Х.А.

Университет Саны, Республика Йемен

E-mail: hamza.qais@mail.ru

ВЛИЯНИЕ АНТИВСПЕНИВАЮЩИХ ДОБАВОК НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА МОДИФИЦИРОВАННОГО БЕТОНА НА ОСНОВЕ ГИПСОЦЕМЕНТНО-ПУЦЦОЛАНОВОГО ВЯЖУЩЕГО

Аннотация. Известно, что повысить эксплуатационные характеристики возможно за счет управления характером поровой структуры бетона. Одним из известных способов управления поровой структурой является применение антивспенивающих добавок. В работе показано влияние антивспенивателей в бетонах на основе гипсоцементно-пуццоланового вяжущего (ГЦПВ). Выбор бетона для исследования, на основе гипсоцементно-пуццоланового вяжущего, обусловлен развитием аддитивных технологий. Изучено влияние трех видов антивспенивающих добавок на свойства бетонной смеси из ГЦПВ: подвижность, воздухововлечение и плотность, а также свойства ГЦПВ-бетона – это прочность и коэффициент его размягчения. Для определения поровой структуры применялся метод, основанный на анализе изображений поровой структуры ГЦПВ-бетона.

Установлена прямая зависимость влияния размера и количества пор на прочностные характеристики бетона с антивспенивающими добавками. Получен оптимальный состав ГЦПВ-смеси с антивспенивающей добавки на основе модифицированного полиэфиром силикона, который позволяет повысить: подвижность на 13,5 %, плотность на 2 %, прочность при сжатии на 15 % и при изгибе на 34% относительно контрольного состава.

Ключевые слова: гипсоцементно-пуццолановое вяжущее, антивспенивающие добавки, минеральные масла, жирный спирт, силикон, модифицированный полиэфиром, подвижность, воздухововлечение, плотность, прочность, коэффициент размягчения.

Введение. Бетон является одним из наиболее широко используемых материалов в области промышленного и гражданского строительства во всем мире [1–3]. С развитием аддитивных технологий вновь появился интерес к применению бетона на основе гипсоцементно-пуццолановых вяжущих (ГЦПВ) которые позволяют в значительной степени снизить стоимость готовой продукции и соответственно повысить ее конкурентоспособность [4].

При этом, необходимо отметить и отрицательный факт – меньшую долговечность ГЦПВ-бетонов в сравнении с цементными.

Как известно, ключевыми параметрами, определяющими долговечность, являются водонепроницаемость и водостойкость [5]. Для повышения этих показателей применяют: минеральные наполнители с пуццолановым эффектом [6–8], пластифицирующие добавки [9–12], гидрофобизирующие добавки [13, 14], кристаллизационные добавки [15] и др.

В работах [16, 17] показано влияние поровой структуры на долговечность бетона. Установлено, что поры диаметром менее 20 нм не влияют на прочность бетона, отрицательное влияние начинается с пор размером от 50 до 200 нм, а поры более 200 нм значительно сокращают срок службы бетона.

Авторы [18, 19] установили, что при увеличении содержания воздуха на 1% прочность на

сжатие снижается на 4–6%, также отмечается прямая зависимость скорости карбонизации от увеличения воздухововлечения. Авторы [20, 21] отмечают, что поликарбоксилатные суперпластификаторы кроме повышения водоредуцирующих свойств приводят к повышению воздухововлечения, что негативно может отразиться на высокопрочных бетонах.

Одним из известных способов управления поровой структурой бетона является применение антивспенивающих добавок [22]. Антивспенивающая добавка (АД) – снижать поверхностное натяжение воды, раствора, суспензии и т. д., что эффективно предотвращает образование пены и уменьшает или устраняет исходную пену [23].

По действию АД на механизм разрушения пены можно разделить на две категории: быстрые и медленные. АД с медленным эффектом – представляют собой масла, которые проникают в пленку пены [24]. Эффективны АД в самоуплотняющемся бетоне, которые приводят к уменьшению размера пор и положительно влияют на его реологию [25, 26].

Таким образом, понимание поровой структуры бетонов не только способствует разработке более эффективных строительных материалов, но также позволяет оптимизировать процессы производства и улучшить экологические характеристики бетонных конструкций [17].

Однако, в литературе мало информации о влиянии антивспенивающих добавок на свойства ГЦПВ-бетонов.

Исходя из этого, в данной работе исследовано влияние трех видов антивспенивающих добавок с разным механизмом действия на свойства бетонной смеси на основе ГЦПВ: подвижность, воздухововлечение и плотность, а также свойства ГЦПВ-бетона – прочность и коэффициент размягчения.

Материалы и методы. Для приготовления ГЦПВ использовали гипсовое и цементное вяжущие, а также два вида пуццолановых минеральных добавок (природный цеолит и микрокремнезем):

- гипсовое вяжущее (ГВ) марки Г-5 производства ООО «Develop a nation» (Республика Йемен), соответствующего требованиям стандарта EN 13279-1:2008, а физико-механические свойства, которого представлены в табл. 1;

- цементное вяжущее – портландцемент (ПЦ) марки ЦЕМ I 42,5Н «Amran cement» (Республика Йемен), удовлетворяющий стандарту ASTM C 150 – TYPE 1, минеральный состав по паспорту качества представлен в табл. 2, а его физико-механические свойства – табл. 3.

Таблица 1

Физико-механические свойства гипсового вяжущего

№	Наименование показателя	Ед. изм.	Значение показателя
1	Тонкость помола, остаток на сите № 02	%	4,5
2	Нормальная густота	%	55
3	Сроки схватывания: - начало - конец	мин.	6 12
4	Предел прочности при изгибе: - через 2 часа - в высушенном до постоянной массы состоянии	МПа	2,9 5,5
5	Предел прочности при сжатии: - через 2 часа - в высушенном до постоянной массы состоянии	МПа	5,35 13,8
6	Коэффициент размягчения	-	0,31

Таблица 2

Минералогический состав портландцемента

Наименование цемента	Минеральный состав клинкера, %			
	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
«Amran cement» (ЦЕМ I 42,5Н)	53,8	20,9	6,4	12,04

Таблица 3

Физико-механические свойства портландцемента

№	Наименование показателя	Ед. изм.	Значение показателя
1	Истинная плотность	г/см ³	3,0
2	Насыпная плотность	г/см ³	1,25
3	Нормальная густота	%	27–28
4	Сроки схватывания цементного теста: - начало - конец	час-мин	2–55 3–40
5	Тонкость помола (проход через сит с сеткой № 008)	%	94
6	Предел прочности в возрасте 28 суток: - при сжатии - при изгибе	МПа	48,5 7,0
7	Прочность при сжатии после пропаривания	МПа	38,4
8	Равномерность изменения объема	-	выдерживает

- микрокремнезем (МК) взят с Саудовского металлургического комбината «BUILMIX». Он представляет собой порошок с частицами сферической формы размером 0,01–0,1 мкм, имеющий удельную поверхность 38000 см²/г (по методу воздухопроцаемости) и пуццолановую активность - 1210 мг/г.

- природный цеолит (ЦЕО) представлял собой мелкозернистый материал светло-зеленого цвета с наибольшим размером фракции 1 мм. Он выпускается предприятием «Yemen zeolite» в г. Сана Республика Йемен. Перед применением цеолит высушивали до постоянной массы и измельчали до порошкообразного состояния с

удельной поверхностью 6500 см²/г (по методу воздухопроницаемости). Его пуццолановая активность по поглощению СаО из насыщенного

известкового раствора составила 815 мг/г. Химические составы ПЦ, МК и ЦЕО и цемента представлены в табл. 41

Таблица 4

Химический состав цемента и АМД входящих в составе ГЦПВ

Название вещества	Количество, %									
	SiO ₂	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	Al ₂ O ₃	K ₂ O	TiO ₂	MnO	SO ₃
ПЦ	20,59	63,5	2,94	3,77	—	4,96	—	—	—	1,96
МК	94,49	0,5	0,62	0,1	0,09	0,07	0,7	—	—	—
ЦЕО	71,3	0,89	0,43	3,44	0,99	11,12	2,69	0,22	0,02	—

Соотношение компонентов ГЦПВ – гипс: портландцемент: микрокремнезем: цеолит природный = 60:25:10:5 масс. ч.

Для приготовления ГЦПВ-бетона в качестве заполнителя использовали фракционированный песок оптимального состава, подобранный в соответствии с рекомендациями [27]. Соотношение ГЦП-вяжущего к песку (П) принято 1:2. Физические свойства песка представлены в табл. 5.

В качестве суперпластификатора использовали «Master Glenium 112» производства Master Builders Solutions «MBCC-GROUP» (Германия) с оптимальной дозировкой 1,5 % от массы ГЦПВ, оптимальное количество определено в работе [10].

Для выявления общих закономерностей исследованы три вида АД, основные свойства которых представлены в табл.6, химическое строение – на рис.1.

Таблица 5

Показатели фракционированного песка

Содержание фракций, %					Насыпная плотность, кг/м ³	Пустотность, %
2,5–1,25 мм	1,25–0,63 мм	0,63–0,315 мм	0,315–0,16 мм	< 0,16 мм		
70	15	5	5	5	1665	36,4

Таблица 6

Основные показатели эффективности АД

Маркировка АД	шифр	Основа АД	Цвет	Содержание твердого вещества	pH	Совместимость с водным раствором СП	Плотность, (г/мл)
E-302/E-303/E-304	АД1	минеральное масло	жёлтый	-	5–8	Не растворяется	0,98
AFV-3130	АД2	на основе жирных спиртов	Белый эмульсия	30	6–7	Слабое растворение	0,9~1,1
XJY-8205D	АД3	силикон, модифицированный полиэфиром	Белый порошок	>98.5	6–8	Хорошее растворение	2,5

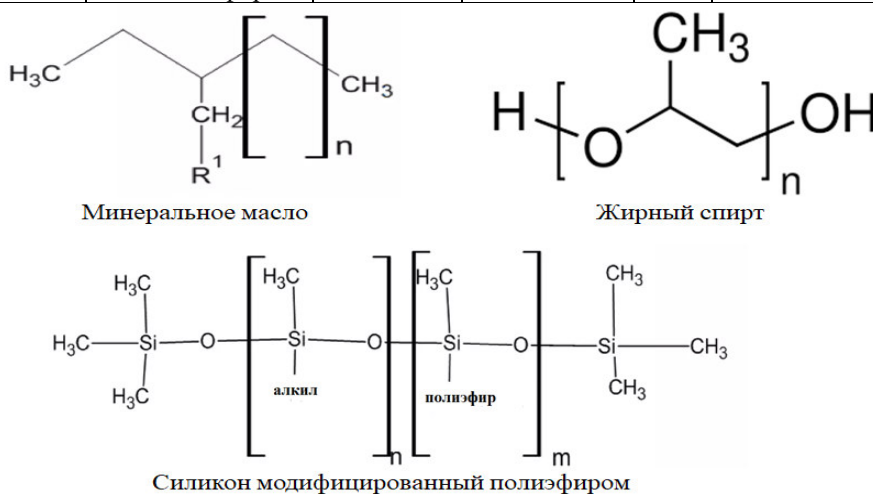


Рис. 1. Структура АД разного типа

Методы испытания. В работе использовались стандартные методики для определения:

- подвижности - по ГОСТ 23789-2018 с использованием прибора Суттарда;

- содержания воздуха в смеси ГЦПВ определяли прибором LC-615A (Sanyo, Япония) в соответствии с ГОСТ 10181-2014.

- прочности при сжатии ГЦПВ-бетона по ГОСТ 10180-2012 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам» на образцах 150*150*150 мм

- водостойкости ГЦПВ-бетона оценивали по коэффициенту размягчения через 24 ч;

- при обработке структуры пор ГЦПВ-бетона использовался метод Фролкина О.А. [28] и программное обеспечение NI Vision Assistant LabVIEW по схеме рис.2.

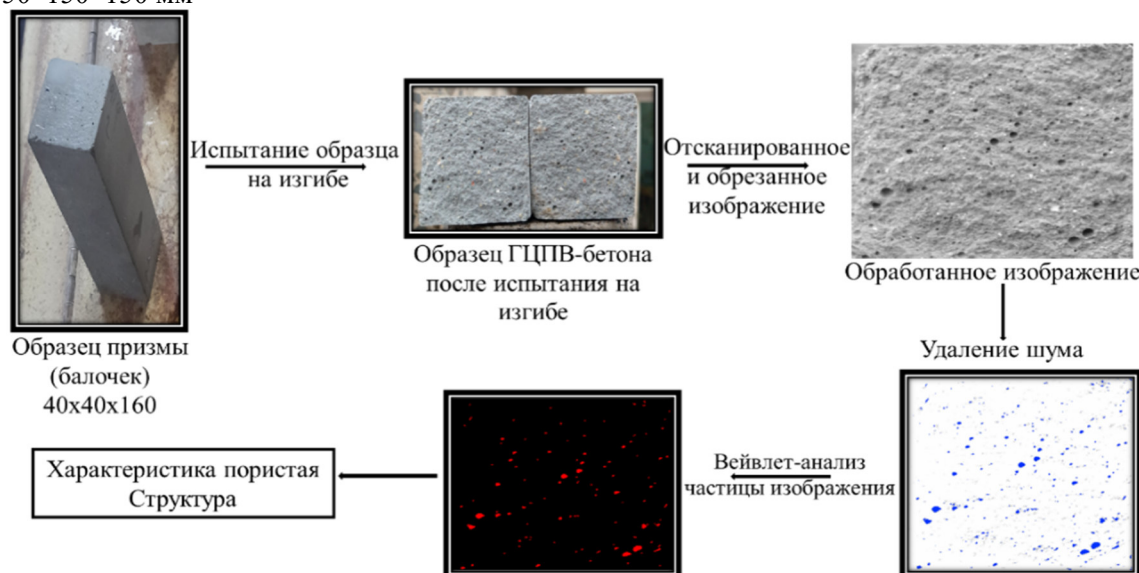


Рис. 2 Схема анализа изображений ГЦПВ-бетона по [28].

Механизм действия АД. АД можно разделить на две категории: быстрые и медленные. АД в зависимости от механизма разрушения пены: медленные АД часто представляют собой масла, которые разрушают пену в течение более длительного периода времени, тогда как быстрые АД обычно представляют собой смешанные агенты, которые проникают в пленку пены. Механизм действия АД (рис. 3) выясняется следующим образом: действующие вещества добавки накапливаются вокруг газового пузыря, вытесняют молекулы ПАВ (а, б). В результате чего АД проникают в пенную пленку и происходит образование мостиков между двумя соседними пенными пленками (в), а толщина пленки ПАВ вокруг пузырьков воздуха уменьшается, при этом внутреннее давление воздушного пузыря использует внутреннее поверхностное натяжение между АД и пенной пленкой в качестве движущей силы, и часть АД расширяется (г). В результате чего пенная пленка разрывается или объединяются с другими, образуя более крупные пузырьки.

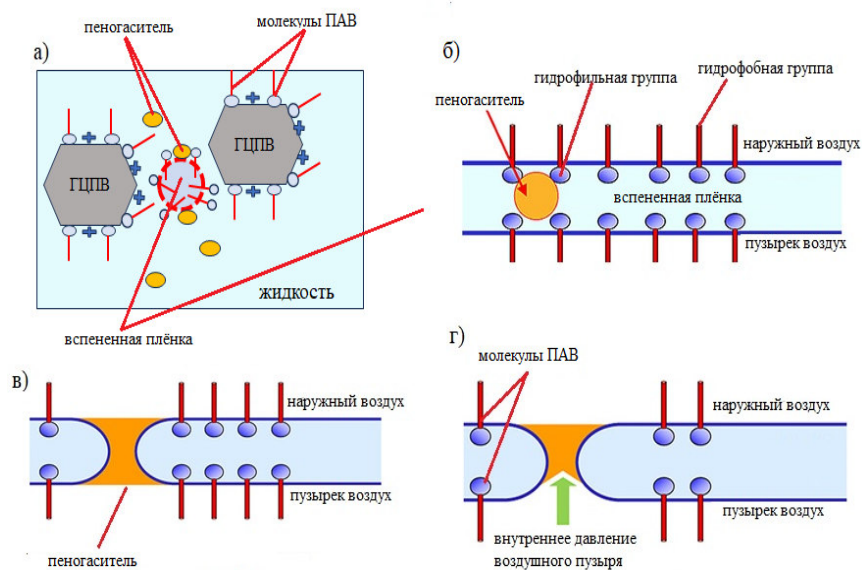


Рис. 3. Механизм действия АД

Результаты и обсуждение. Первоначально было определено содержание воздуха в ГЦПВ-

бетона с АД. Результаты содержания воздуха в ГЦПВ-бетона представлены на рис. 4.

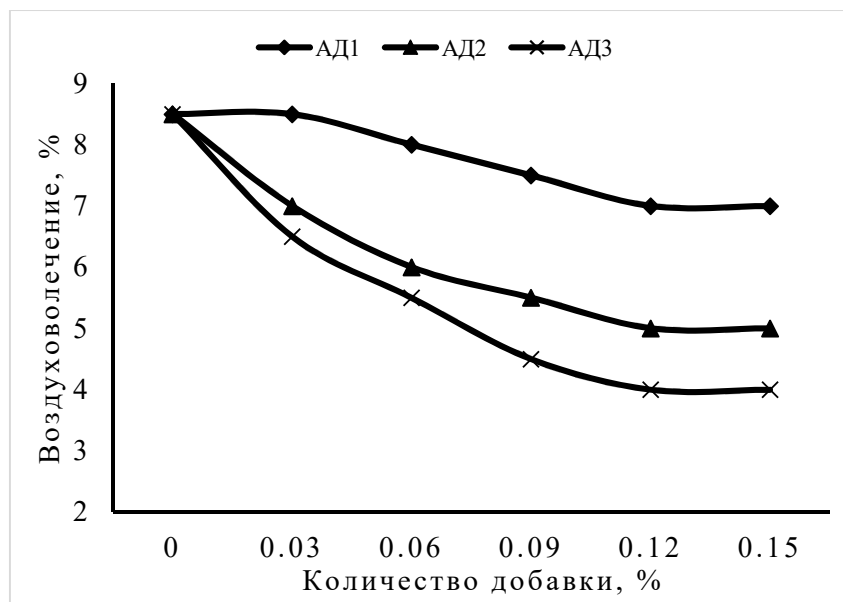


Рис. 4. Влияние пеногасителей на воздухововлечение мелкозернистого ГЦПВ-бетона

Из рис. 4 видно, что максимальное снижение воздухововлечения происходит при введении АД3 на основе модифицированного полиэфиром силикона. При введении 0,15% АД3 воздухововлечение снижается с 8,5% до 4,0 % (снижение на 53%). Наименее эффективный АД1 на основе минерального масла, при дозировке его 0,15% воздухововлечение уменьшается на 1%, относительно контрольного состава.

Проведенные исследования влияния АД на сроки схватывания показали (табл.7), что

наибольшим замедляющим эффектом обладает АД1, при его максимальной дозировке (0,15%) начало схватывания замедляется на 6,5 минут, а конец схватывания на 6 минут. При этом АД2 увеличивает время начала схватывания в 1,2-1,3 раза и отодвигает конец схватывания смеси в 1,1 – 1,3 раза по сравнению с бездобавочным составом. АД3 не влияет на сроки схватывания ГЦПВ.

Результаты влияния АД на подвижность ГЦПВ-бетона представлены на рис. 5 и табл. 7.

Таблица 7

Влияние АД на свойства мелкозернистой ГЦПВ-смеси

Шифр АД	Вид АД	Кол-во добавки, % от массы бетона	Диаметр расплыва по Сутгарду, мм	Сроки схватывания, мин.		Коэффициент размягчения, Кр
контрольный		0	185	12,5	15,5	0,89
АД1	Е-302/Е-303/Е-304	0,03	185	12,5	15,5	0,88
		0,06	190	13	16	0,87
		0,09	185	17	23,5	0,85
		0,12	180	18	23	0,84
		0,15	175	18,5	22	0,82
АД2	AFV-31300	0,03	185	12,5	15,5	0,90
		0,06	195	13	15	0,91
		0,09	200	13,5	16,5	0,92
		0,12	205	14	16,5	0,91
		0,15	195	14	17	0,89
АД3	XJY-8205D	0,03	185	13	16	0,91
		0,06	195	13,5	16	0,93
		0,09	205	12	15	0,94
		0,12	210	12,5	15	0,92
		0,15	200	13	16,5	0,9

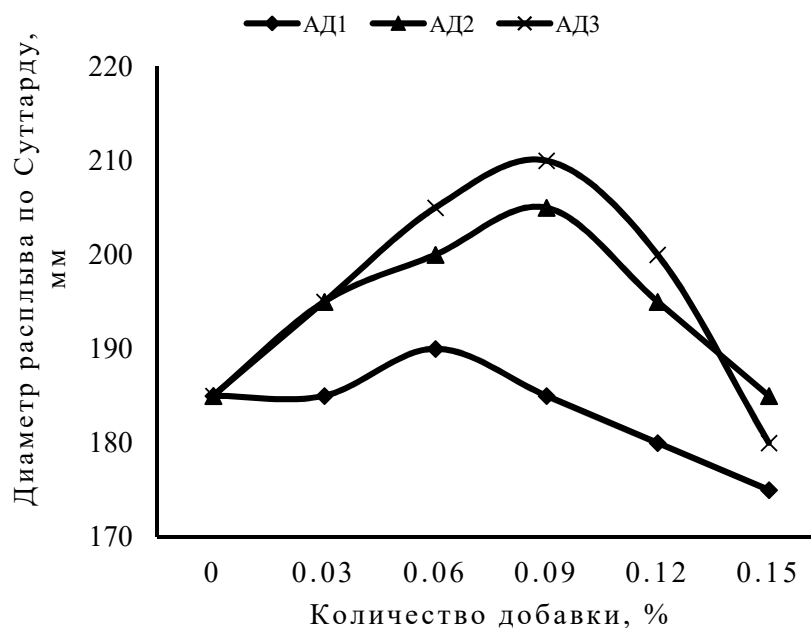


Рис. 5. Подвижность мелкозернистого ГЦПВ-бетона с добавками АД

Из рис. 5 видно, что максимальная подвижность достигается при средних концентрациях АД, точка экстремума у состава с АД1 при 0,006 %, а у АД2 и АД3 – при 0,0 9%. При увеличении дозировок подвижность резко снижается

до значений контрольного бездобавочного состава.

Влияние АД на плотность в марочном возрасте показано на рис. 6.

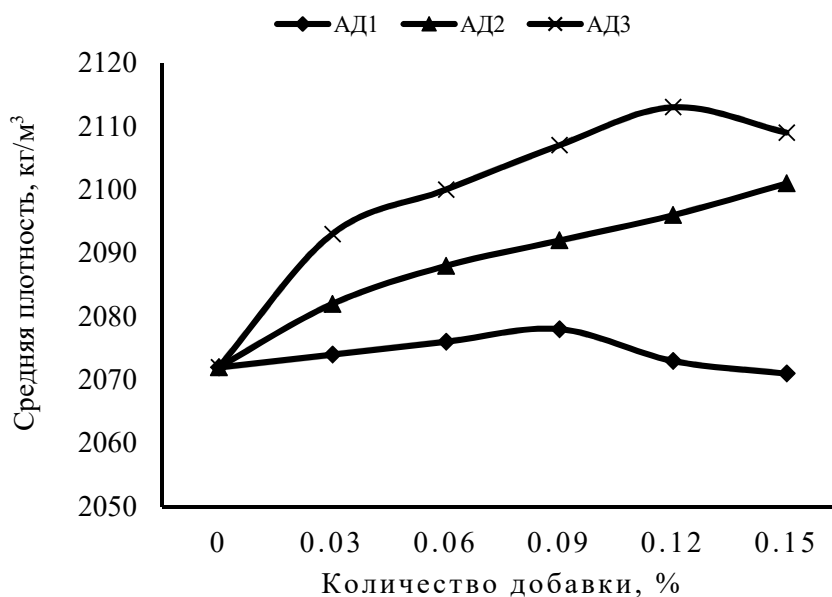


Рис. 6. Плотность мелкозернистого ГЦПВ-бетона с добавками АД

По влиянию АД на плотность бетона расположились в ряду по возрастанию: АД1, АД2 и АД3 (так увеличение плотности на 4% при дозировке 0,15 %).

Прочностные характеристики представлены на рис.7, рис. 8 и коэффициент размягчения на рис. 9.

Анализ рис. 7, 8 и 9 показал одинаковый характер влияния АД и на прочность при изгибе и сжатии и на коэффициент размягчения.

АД1 (на основе минерального масла) оказывает негативное влияние на прочностные характеристики и на коэффициент размягчения.

Максимальные прочностные характеристики получены при введении АД3, что согласуется с данными по плотности. При этом следует отметить, что при больших дозировках – АД2 и АД3 (0,15 %) происходит спад прочности.

Максимальный прирост прочности при изгибе при дозировке 0,12 % для АД2 и АД3 составляет 19 и 34 %, соответственно.

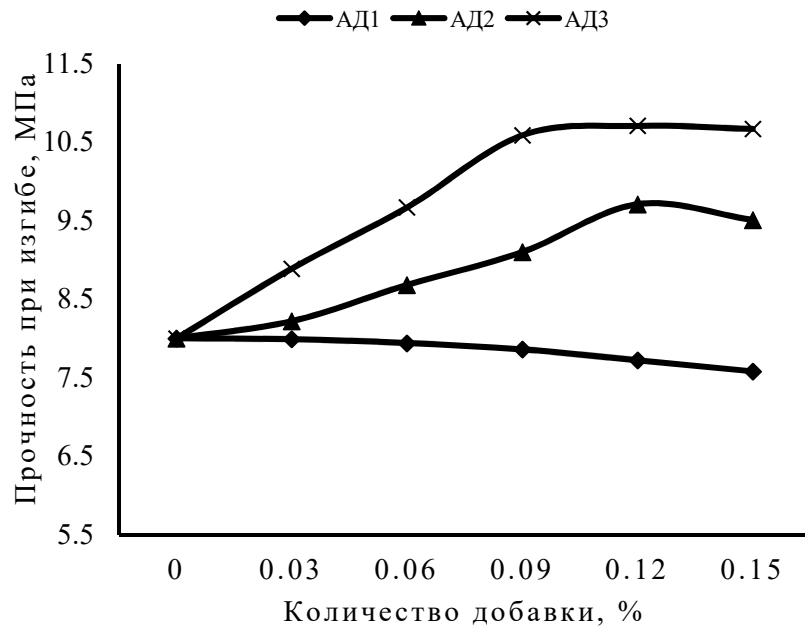


Рис. 7. Прочность при изгибе мелкозернистого ГЦПВ-бетона с добавками АД

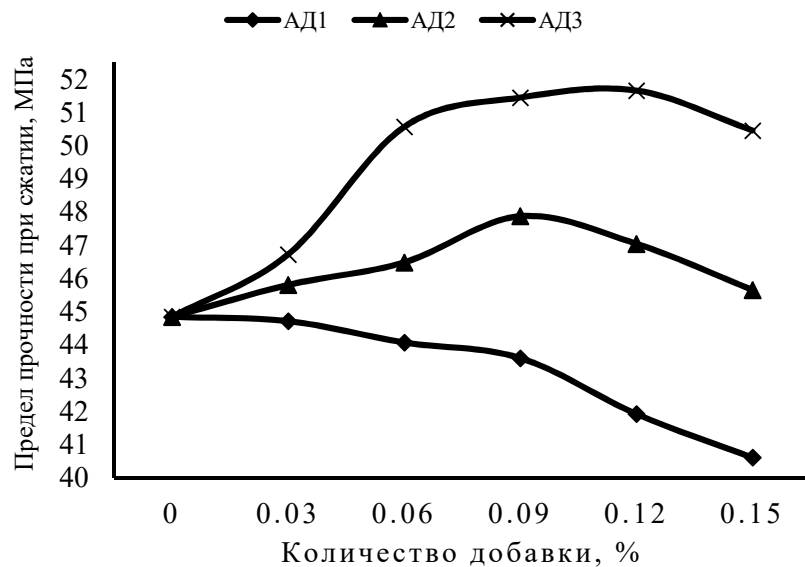


Рис.8. Прочность на сжатие мелкозернистого ГЦПВ-бетона с добавками АД

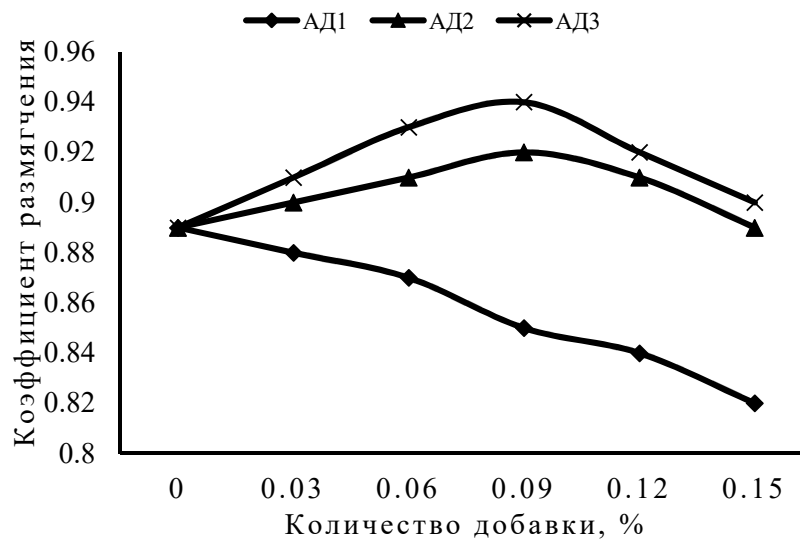


Рис. 9. Коэффициент размягчения мелкозернистого ГЦПВ-бетона с АД добавками

Максимальный прирост прочности при сжатии при дозировке 0,12% для АД2 и АД3 составляет 7 % и 15,2 %, соответственно.

При дозировке 0,09 % АД2 и АД3 наблюдается максимальное значение коэффициента размягчения 0,92 и 0,94, соответственно.

Обобщая полученные результаты, можно сделать вывод, что введение в состав ГЦПВ-смеси антивспенивающей добавки на основе силикона, модифицированного полиэфиром, позволяет получить наилучшие технологические и эксплуатационные характеристики, а именно: повысить подвижность на 13,5 %, плотность – на 2 %, прочность при сжатии - на 15 %, при изгибе - на 34 % и коэффициент размягчения – на 6 %.

Рост характеристик ГЦПВ-бетона с АД добавками связываем с дисперсностью пор. Для установления характеристик пор бетона использована математическая программа «NI Vision Assistant LabVIEW», алгоритм которой позволяет обрабатывать исследуемые участки, считывая геометрию пор и производя их градацию по размерам. Результаты представленных в табл. 8 и на рис. 10.

Рост характеристик ГЦПВ-бетона с АД добавками связываем с дисперсностью пор. Для установления характеристик пор бетона использована математическая программа «NI Vision Assistant LabVIEW», алгоритм которой позволяет обрабатывать исследуемые участки, считывая геометрию пор и производя их градацию по размерам. Результаты представленных в табл. 8 и на рис. 10.

Таблица 8

Характеристики пор ГЦПВ-бетона при введение различных АД

Шифр	Площадь обработанного изображения, мм ²	Количество пор в обработанных изображениях	Средняя площадь пор, (мм ²)	Средний диаметр пор, мм	Отношение пустот к площади поперечного сечения
Конт.	1631	59	0,37	0,69	1,34
АД1	1629	101	0,22	0,53	1,36
АД2	1638	57	0,075	0,31	0,26
АД3	1635	16	0,05	0,25	0,05

Как видно из табл. 8 и рис. 10, наибольшее количество пор (101 шт) имеет ГЦПВ-бетон с АД1 (рис. 10б) и средний размер пор – 0,53 мкм. При этом, полученные значения среднего диаметра пор на 30 % меньше контрольного без АД (рис. 10а). Минимальное влияние АД1 можно объяснить его механизмом действия – АД1 медленного действия и она не подходит для быстротвердеющих систем.

Для смесей ГЦПВ-бетона с АД2 (рис. 10в), количество пор составляет 57 шт, а средней размер пор – 0,31 мкм и эти значения на 122,5 % меньше контрольного состава.

Наименьшее количество пор (16 шт) наблюдается у состава ГЦПВ-бетона с АД3 (рис. 10г) на основе силикона, модифицированного полиэфиром – средний размер пор 0,25 мкм, что на 176 % меньше по сравнению с контрольным.

Таким образом, установлена прямая зависимость влияния количества и размер пор на прочностные характеристики ГЦПВ бетона.

Выводы

1. Максимальный эффект действия антивспенивающих добавок получен при их максимальных дозировках. Антивспенивающая добавка на основе силикона, модифицированного полиэфиром, позволяет снизить воздухоовлечение ГЦПВ-смеси в два раза по сравнению с контрольным составом.

2. Рекомендуемая дозировка добавки на основе силикона, модифицированного полиэфиром и добавки на основе жирных спиртов, составляет 0,06–0,09 % от массы ГЦПВ-бетона.

3. При выборе антивспенивающих добавок необходимо учитывать их механизм действия. Установлено, что антивспенивающая добавка на основе минерального масла, относящаяся по механизму действия к категории «медленные» не подходит для ГЦПВ композиций.

4. Применение в состав ГЦПВ-смеси антивспенивающей добавки на основе силикона, модифицированного полиэфиром, улучшает их технологические и эксплуатационные характеристики, а именно: подвижность увеличилась на 13,5 %, повысились плотность на 2 %, прочность при сжатии – на 15 %, при изгибе – на 34 % и коэффициент размягчения на 6 % по сравнению с контрольным составом.

5. Показано, что антивспенивающие добавки изменяют поровую структуру ГЦПВ-бетона. Так, антивспенивающие добавки на основе силикона, модифицированного полиэфиром и добавки на основе жирных спиртов, уменьшают общее количество пор и их размер, повышают физико-механические свойства бетона. Тогда как антивспенивающие добавки на основе минерального масла увеличивают общее количество пор в ГЦПВ-бетоне и приводят к снижению его физико-механические показателей.

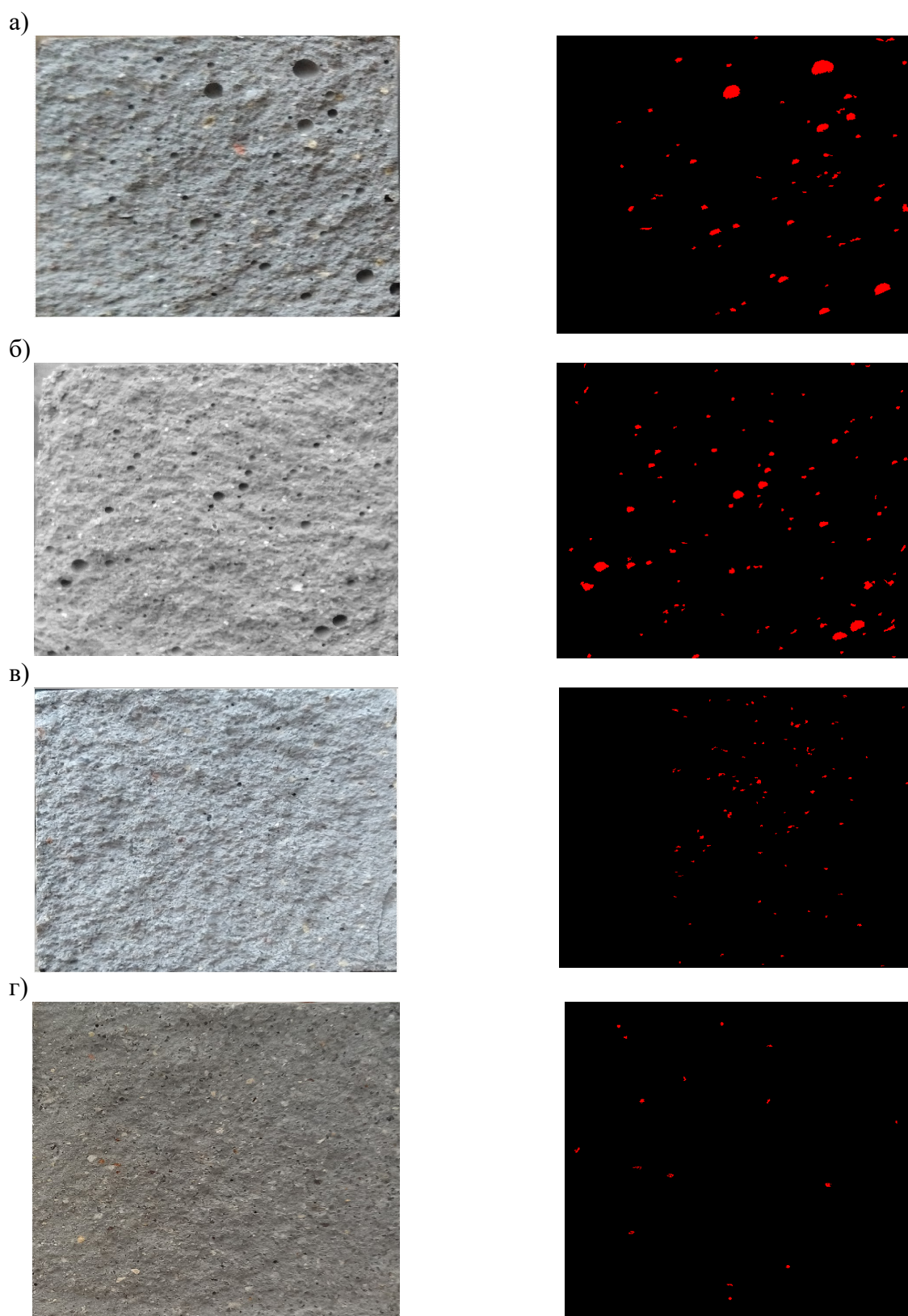


Рис. 10. Макроструктура ГЦПВ бетона: а – без АД; б – с АД1; в – с АД2; г – с АД3

Благодарность. Автор выражает благодарность руководству университета Саны, факультет гражданского строительства за возможность проведения исследования в лаборатории.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Добшиц Л.М. Физико-математическое моделирование морозостойкости цементных бетонов // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2023. Т. 19. № 3. С. 313–321. DOI: 10.22363/1815-5235-2023-19-3-313-321

2. Кайс Х.А., Морозова Н.Н. Свойства природного цеолита для получения высокопрочного мелкозернистого бетона // Строительные материалы. 2017. № 6. С. 63–68.
3. Perevoshchikova A.N., Valtisfer I.V., Kondrashova N.B., Voronina N.S. The physical and mechanical properties of concrete with multifunctional additive. *Nanotechnologies in construction*. 2024; 16(2). Pp. 170–179. DOI: 10.15828/2075-8545-2024-16-2-170-179. EDN: BFTEZA.
4. Морозова Н.Н., Закиров К.И. Сравнительная эффективность замедлителей схватывания гипсоцементнопуццоланового бетона для 3D-печати // Решения современных проблем материаловедения и технологий в строительстве. ВладСтройТех 2024: материалы I международной конференции молодых ученых / под общ. ред. Ю.Т. Панова и С.В. Ананьева. М: ИП Лысенко А.Д. «Press-Book.ru», 2024. С. 131–134
5. Пуценко К.Н., Балабанов В.Б. Перспективы развития и применения сухих строительных смесей на основе гипса // Вестник иркутского государственного технического университета. 2015. №7 (102). С. 148–154.
6. Изотов В.С., Мухаметрахимов Р.Х., Галаутдинов А.Р. Исследование влияния активных минеральных добавок на реологические и физико-механические свойства гипсоцементно-пуццоланового вяжущего // Строительные материалы. 2015. №5. С. 20–24.
7. Чернышева Н.В. Водостойкие гипсовые композиционные материалы с применением техногенного сырья. Автореферат дис. доктора. техн. наук. Белгород. 2014. 36 с.
8. Аунг Чжо Ньейн, Потапова Е.Н. влияние вида пуццолановой добавки на состав и свойства гипсоцементно-пуццоланового вяжущего // Успехи в химии и химической технологии. 2022. С. 7–9.
9. Кайс Х.А., Богданов Р.Р., Морозова Н.Н., Мавлюбердинов А.Р., Сулейманова Л.А. Влияние суперпластифицирующих добавок на основе эфира поликарбоксилата на свойства гипсоцементно-пуццоланового вяжущего // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2024. №8. С. 20–28. DOI: 10.34031/2071-7318-2024- 9-8-20-28.
10. Хамза Абдулмалек Кайс, Морозова Н.Н. Влияние пластифицирующих добавок различного состава на свойства комплексного гипсоцементно-пуццоланового вяжущего // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2024. № 8–24. С. 57–70. DOI: 10.32683/0536-1052-2024-788-8-57-70
11. Халиуллин М.И., Нуриев М.И., Рахимов Р.З., Гайфуллин А.Р. Влияние пластифицирующих добавок на свойства гипсоцементнопуццоланового вяжущего // Вестник Казанского технологического университета. 2015. Т. 18. № 6. С. 119–122.
12. Мухаметрахимов Р.Х., Галаутдинов А.Р. Влияния пластифицирующих добавок на основные свойства гипсоцементно-пуццоланового вяжущего на основе низкомарочного и техногенного сырья // Известия КГАСУ. 2016. № 4 (38). С. 382–387.
13. Галаутдинов А.Р., Мухаметрахимов Р.Х. Повышение водостойкости гипсоцементно-пуццоланового вяжущего на основе низкомарочного гипса // Известия КГАСУ. 2016. № 4 (38). С. 333–343.
14. Кайс Х.А., Морозова Н.Н., Низамов Р.К. Гипсоцементно-пуццолановый бетон с гидрофобизирующими добавками // Известия КГАСУ. 2024. № 4(70). С. 19–32. DOI: 10.48612/NewsKSUAE/70.2, EDN: BZCPBD
15. Кайс Х.А., Морозова Н.Н., Хохряков О.В. Сравнительная эффективность добавок гидрофобизирующего и кристаллизационного действия на свойства гипсоцементно-пуццоланового вяжущего и бетона на его основе // Строительные материалы. 2024. № 11. С. 63–72. DOI: 10.31659/0585-430X-2024-830-11-63-72.
16. Xue F., Meng P., Zhang J. Bao J., Wang K. Influence of water re-curing on microstructure of heat-damaged cement mortar characterized by low-field NMR and MIP // *Construction and Building Materials*. 2020, Vol. 262. 120532. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2020.120532.
17. Вылегжанин В.П., Пинскер В.А., Петрова Т.М. Микропористость ячеистого бетона и ее влияние на теплопроводность // Строительные материалы. 2021. № 8. С. 67–71. DOI: 10.31659/0585-430X-2021-794-8-67-71.
18. Song G., Hong S. Effect of dispersibility of carbon nanotubes by silica fume on material properties of cement mortars: hydration, pore structure, mechanical properties, self-desiccation, and autogenous shrinkage // *Construction and Building Materials*. 2020. Vol. 265. 120318. DOI:10.1016/j.conbuildmat.2020.120318.
19. Liu H., Wei D., Zou A. Utilization of waste cathode ray tube funnel glass for ultra-high performance concrete // *Journal of Cleaner Production*. 2020. Vol. 249. 119333. DOI:10.1016/j.jclepro.2019.119333.
20. Bilal H., Chen T., Ren M., Gao X., Su A. Influence of silica fume, metakaolin and SBR latex on strength and durability performance of pervious concrete // *Construction and Building Materials*. 2021, Vol. 275. 122124. DOI:10.1016/j.conbuildmat.2020.122124.
21. Das S., Weerasiri L. D., Yang W. Influence of surface tension on bubble nucleation, formation and onset of sliding // *Colloids & Surfaces A Physicochemical & Engineering Aspects*. 2017. Vol. 516. 23.
22. Wang S.X., Zhang G.F., Wang Z.J., Huang T.Y., Wang P.M. Effect of defoaming agent on the

properties of cement mortars with hydroxyethyl methyl cellulose through adjusting air content gradient // Cement and Concrete Composites. 2023. Vol. 139 (2-3). 105024. DOI: 10.1016/j.cemconcomp.2023.105024.

23. La'zniewska-Piekarczyk B. Influence of anti-foaming admixture on frost resistance and porosity characteristic of self-compacting concrete // Archives of Civil Engineering. 2011. Vol. 4. Pp. 389–399.

24. Radlinski M., Olek J., Zhang Q., Peterson K. Evaluation of the critical air-void system parameters for freeze-thaw resistant ternary concrete using the manual point-count and the flatbed scanner methods. Recent Advancement in Concrete Freezing-Thawing (FT) Durability: ASTM International; 2010.

25. Choi K., Min Y.K., Chung W., Lee S.-E., Kang S.-W. Effects of dispersants and defoamers on the enhanced electrical performance by carbon nano-

tube networks embedded in cement-matrix composites // Composite Structures. 2020, Vol. 243. 112193. DOI: 10.1016/j.compstruct.2020.112193.

26. Puthipad N., Ouchi M., Rath S., Attachaiyawuth A. Enhanced entrainment of fine air bubbles in self-compacting concrete with high volume of fly ash using defoaming agent for improved entrained air stability and higher aggregate content // Construction and Building Materials. 2017. Vol. 144. Pp. 1–12. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2017.03.049

27. Morozova N., Kais K., Gilfanov R. Influence of the fractional composition of the aggregate on the technological and strength properties of HCPV concrete // AIP Conference Proceedings. 2022. Vol. 2434. 020009. DOI: 10.1063/5.0091723

28. Фролкин О.А. Компьютерное моделирование и анализ структуры композиционных материалов: автореф. дис...канд. техн. наук. Саранск. 2000. 18 с.

Информация об авторах

Кайс Хамза Абдулмалек, преподаватель-исследователь. E-mail: hamza.qais@mail.ru. Университет Саны (13064, г. Сана, Республика Йемен).

Поступила 10.02.2025 г.

© Кайс Х.А., 2025

Qais H.A.

University of Sana'a

E-mail: hamza.qais@mail.ru

INFLUENCE OF ANTIFOAMING ADDITIVES ON THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF MODIFIED CONCRETE BASED ON A GYPSUM-CEMENT-POZZOLAN BINDER

Abstract. It is known that the introduction of air-entraining additives (SAA) improves both the technological properties of the concrete mix - workability, and increases the operational characteristics of concrete - frost resistance. At the same time, it is also possible to improve the operational characteristics by controlling the nature of the pore structure of concrete.

One of the known methods for controlling the pore structure is the use of antifoaming additives. The paper shows the effect of antifoams in concretes based on gypsum-cement – pozzolanic binder (GCPB). The choice of concrete for the study based on gypsum-cement – pozzolanic binder is due to the development of additive technologies.

The effect of three types of antifoaming additives on the properties of concrete mix from gypsum-cement-pozzolanic binder was studied: mobility, air entrainment and density, as well as the properties of gypsum-cement concrete - this is strength and its softening coefficient. To determine the pore structure, a method based on the analysis of images of the pore structure of gypsum-cement concrete was used. A direct dependence of the influence of the size and number of pores on the strength characteristics of concrete with antifoaming additives has been established. An optimal composition of the GCPB mixture with an antifoaming additive based on polyester-modified silicone has been obtained, which allows increasing: mobility by 13.5 %, density by 2 %, compressive strength by 15% and bending strength by 34 % relative to the control composition.

Keywords: gypsum cement-pozzolanic binder, antifoaming additives, mineral oils, fatty alcohol, silicone modified with polyester, mobility, air entrainment, density, strength, softening coefficient.

REFERENCES

1. Dobshits L.M. Physical and mathematical modeling of frost resistance of cement concrete [Fiziko-matematicheskoye modelirovaniye morozostoykosti tsementnykh betonov]. Structural mechanics of engineering structures and constructions.

2023. Vol. 19. No. 3. Pp. 313–321. DOI: 10.22363/1815-5235-2023-19-3-313-321. (rus)

2. Qais H.A., Morozova N.N. Properties of natural zeolite for obtaining high-strength fine-grained concrete [Svoystva prirodnogo tseolita dlya

polucheniya vysokoprochnogo melkozernistogo betona]. Construction materials. 2017. No. 6. Pp. 63–68. (rus)

3. Perevoshchikova A.N., Valtsifer I.V., Kondrashova N.B., Voronina N.S. The physical and mechanical properties of concrete with multifunctional additive. Nanotechnologies in construction. 2024. Vol. 16. No. 2. Pp. 170–179. DOI: 10.15828/2075-8545-2024-16-2-170-179. EDN: BFTEZA.

4. Morozova N.N., Zakirov K.I. Comparative efficiency of gypsum-cement-pozzolanic concrete setting retarders for 3D printing [Sravnitel'naya effektivnost' zamedliteley skhvatyvaniya gipsotsementnoputstsolanovogo betona dlya 3D – pechati]. Solutions to modern problems of materials science and technology in construction. VladSroyTech 2024: Proceedings of the 1st International Conference of Young Scientists. edited by Yu.T. Panov and S.V. Ananyev. M: IP Lysenko A.D. "Press-Book.ru", 2024. Pp. 131–134. (rus)

5. Putsenko K.N., Balabanov V.B. Prospects for the Development and Application of Dry Building Mixes Based on Gypsum [Perspektivy razvitiya i primeneniya sukhikh stroitel'nykh smesey na osnove gipsa]. Bulletin of the Irkutsk State Technical University. 2015. No. 7 (102). Pp. 148–154. (rus)

6. Izotov V.S., Mukhametrakhimov R.Kh. Galatdydinov A.R. Study of the influence of active mineral additives on the rheological and physical-mechanical properties of gypsum-cement-pozzolanic binder [Issledovaniye vliyaniya aktivnykh mineral'nykh dobavok na reologicheskiye i fiziko-mekhanicheskiye svoystva gipsotsementno-putstsolanovogo vyazhushchego] Construction Materials. 2015. Vol. 5. Pp. 20–24. (rus)

7. Chernysheva N.V. Waterproof gypsum composite materials using technogenic raw materials [Vodostoykiye gipsovyie kompozitsionnyye materialy s primeneniye tekhnogennogo syr'ya]. Diss. Cand. of Technical Sciences. Belgorod. 2014. 434 p. (rus).

8. Aung Kyaw Nyein, Potapova E.N. Influence of the type of pozzolanic additive on the composition and properties of gypsum-cement-pozzolanic binder [Vliyaniye vida putstsolanovoy dobavki na sostav i svoystva gipsotsementno-putstsolanovogo vyazhushchego]. Advances in Chemistry and Chemical Technology. 2022. Pp. 7–9. (rus)

9. Qais H.A., Bogdanov R.R., Morozova N.N., Mavlyuberdinov A.R., Suleymanova L.A. Influence of superplastifying additives based on polycarboxylate ether on the properties of gypsocement-pozzolanic binder [Vliyaniye superplastifitsiruyushchikh dobavok na osnove efira polikarboksilata na svoystva gipsotsementno-putstsolanovogo

vyazhushchego]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2024]. No. 8. Pp. 20–28. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-8-20-28. (rus)

10. Hamza Abdulmalek Qais, Morozova N.N. Influence of plastifying additives of different origin on the properties of complex gypsum-cement-pozzolanic binder [Vliyaniye plastifitsirushchikh dobavok razlichnogo sostava na svoystva kompleksnogo gipsotsementno-putstsolanovogo vyazhushchego]. Izvestiya of Higher Education Institution. Construction. 2024. No. 8–24. Pp. 57–70. DOI: 10.32683/0536-1052-2024-788-8-57-70. (rus)

11. Khaliullin M.I., Nuriev M.I., Rakhimov R.Z., Gaifullin A.R. The influence of plasticizing additives on the properties of gypsum-cement-pozzolanic binder [Vliyaniye plastifitsiruyushchikh dobavok na svoystva gipsotsementnoputstsolanovogo vyazhushchego]. Bulletin of Kazan Technological University. 2015. No. 18 (6). Pp. 119–122. (rus)

12. Mukhametrahimov R.Kh., Galautdinov A.R. Influence of plasticizing additives on the main properties of gypsum-cement-pozzolanic binder based on low-grade and technogenic raw materials [Vliyaniya plastifitsiruyushchikh dobavok na osnovnyye svoystva gipsotsementno-putstsolanovogo vyazhushchego na osnove nizkomarochnogo i tekhnogennogo syr'ya]. News of the Kazan State University of Architecture and Civil Engineering. 2016. No. 4 (38). Pp. 382–387. (rus)

13. Galautdinov A.R., Mukhametrahimov R. Kh. Increasing the water resistance of gypsum-cement-pozzolanic binder based on low-grade gypsum [Povysheniye vodostoykosti gipsotsementno-putstsolanovogo vyazhushchego na osnove nizkomarochnogo gipsa]. News of the Kazan State University of Architecture and Civil Engineering. 2016. No. 4 (38). Pp. 333–343. (rus)

14. Qais H.A., Morozova N.N., Nizamov R.K. Gypsum-cement-pozzolan concrete with hydrophobic additives [Gipsotsementno-putstsolanovyy beton s gidrofobiziruyushchimi dobavkami]. News of KSUAE. 2024. No. 4(70). Pp. 19–32. DOI: 10.48612/NewsKSUAE/70.2 EDN: BZCPBD. (rus)

15. Qais H.A., Morozova N.N., Khokhryakov O.V. Comparative efficiency of additives with hydrophobizing and crystallization action on the properties of gypsum-cement-pozzolanic binder and concrete based on it [Sravnitel'naya effektivnost' dobavok gidrofobiziruyushchego i kristallizatsionnogo deystviya na svoystva gipsotsementno-putstsolanovogo vyazhushchego i betona na yego osnove]. Construction materials. 2024. No. 11. Pp. 63–72. DOI: 10.31659/0585-430X-2024-830-11-63-72.

16. Xue F., Meng P., Zhang J., Bao J., Wang K. Influence of water re-curing on microstructure of heat-damaged cement mortar characterized by low-

field NMR and MIP. *Construction and Building Materials*. 2020. Vol. 262. 120532. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2020.120532.

17. Vylegzhanin V.P., Pinsker V.A., Petrova T.M. Microporosity of cellular concrete and its influence on thermal conductivity [Mikroporistost' yacheistogo betona i yeye vliyaniye na teploprovodnost']. *Construction materials*. 2021. No. 8. Pp. 67–71. DOI: 10.31659/0585-430X-2021-794-8-67-71. (rus)

18. Song G., Hong S. Effect of dispersibility of carbon nanotubes by silica fume on material properties of cement mortars: hydration, pore structure, mechanical properties, self-desiccation, and autogenous shrinkage. *Construction and Building Materials*. 2020. Vol. 265. 120318. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2020.120318.

19. Liu H., Wei D., Zou A. Utilization of waste cathode ray tube funnel glass for ultra-high performance concrete. *Journal of Cleaner Production*. 2019. Vol. 249. 119333. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.119333.

20. Bilal H., Chen T., Ren M., Gao X., Su A. Influence of silica fume, metakaolin and SBR latex on strength and durability performance of pervious concrete. *Construction and Building Materials*. 2021. Vol. 275. 122124. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2020.122124.

21. Das S., Weerasiri L. D., Yang W. Influence of surface tension on bubble nucleation, formation and onset of sliding. *Colloids & Surfaces A Physicochemical & Engineering Aspects*. 2017. Vol. 516. P. 23.

22. Wang S.X., Zhang G.F., Wang Z.J., Huang T.Y., Wang P.M. Effect of defoaming agent on the properties of cement mortars with hydroxyethyl methyl cellulose through adjusting air content gradient. *Cement and Concrete Composites*. 2023.

Vol. 139 (2-3). 105024. DOI: 10.1016/j.cemconcomp.2023.105024.

23. La'zniewska-Piekarczyk B. Influence of anti-foaming admixture on frost resistance and porosity characteristic of self-compacting concrete. *Archives of Civil Engineering*. 2011. Vol. 4. Pp. 389–399.

24. Radlinski M., Olek J., Zhang Q., Peterson K. Evaluation of the critical air-void system parameters for freeze-thaw resistant ternary concrete using the manual point-count and the flatbed scanner methods. *Recent Advancement in Concrete Freezing-Thawing (FT) Durability: ASTM International*; 2010.

25. Choi K., Min Y.K., Chung W., Lee S.-E., Kang S.-W. Effects of dispersants and defoamers on the enhanced electrical performance by carbon nanotube networks embedded in cement-matrix composites. *Compos. Struct.* 2020. Vol. 243. 112193. DOI: 10.1016/j.compstruct.2020.112193.

26. Puthipad N., Ouchi M., Rath S., Attachaiyawuth A. Enhanced entrainment of fine air bubbles in self-compacting concrete with high volume of fly ash using defoaming agent for improved entrained air stability and higher aggregate content. *Construct. Build. Mater.* 2017, Vol. 144. Pp. 1–12.

27. Morozova N., Kais K., Gilfanov R. Influence of the fractional composition of the aggregate on the technological and strength properties of HCPV concrete. *AIP Conference Proceedings*. 2022. Vol. 2434. 020009. DOI: 10.1063/5.0091723

28. Frolkin, O.A. Computer modeling and analysis of the structure of composite materials: author's abstract [Komp'yuternoye modelirovaniye i analiz struktury kompozitsionnykh materialov]. diss... candidate of technical sciences. Saransk. 2000. 18 p. (rus)

Information about the author

Qais Hamza Abdulmalek. Teacher-researcher of the Faculty of Engineering. E-mail: hamza.qais@mail.ru. University of Sana'a, Republic of Yemen, 13064, Sana'a.

Received 10.02.2025

Для цитирования:

Кайс Х.А. Влияние антивспенивающих добавок на структуру и свойства модифицированного бетона на основе гипсоцементно-песчаноцементного вяжущего // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2025. № 7. С. 20–32. DOI: 10.34031/2071-7318-2025-10-7-20-32

For citation:

Qais H.A. Influence of antifoaming additives on the structure and properties of modified concrete based on a gypsum-cement-pozzolan binder. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*. 2025. No.7. Pp. 20–32. DOI: 10.34031/2071-7318-2025-10-7-20-32