

Эффективные безгипсовые портландцементные вяжущие с низкой водопотребностью для строительных материалов и конструкций

И.П. Терешкин

Национальный исследовательский Мордовский государственный университет

им. Н. П. Огарёва, г. Саранск

Аннотация: В статье показана возможность снижения водопотребности клинкерных вяжущих на основе безгипсового цемента с многокомпонентной добавкой из технического лигносульфоната и водного раствора силиката натрия. Показана возможность получения для строительных конструкций композитов на основе модифицированного безгипсового цемента с улучшенными свойствами.

Ключевые слова: композит, безгипсовый цемент, композиция, лигносульфонат технический, бетон, портландцемент, силикат натрия, прочность.

Клинкерные цементные вяжущие и цементные бетонные композиты на их основе являются и остаются главными строительными материалами XXI века [1 - 3]. Они играют ключевую роль в строительстве жилья, инфраструктуры, транспортных систем, различного назначения зданий и сооружений, поэтому их потребление с каждым годом в мире возрастает. В связи с чем, в настоящее время все более актуальными становятся разработка и широкое внедрение в строительное производство эффективных модифицированных полиминеральных малоклинкерных сырьевых смесей (МПС) на основе портландцементного вяжущего для материалов и конструкций широкого наименования с требуемыми эксплуатационными характеристиками.

Залогом производства эффективных и долговечных бетонных композитов является предельное снижение водотвердого отношения их сырьевых смесей [4 - 6]. С этих позиций, технология получения комплексно-модифицированных доступными и недорогими химическими добавками сырьевых смесей на основе безгипсового портландцементного вяжущего серийной промышленной тонкости помола и низкой водопотребностью – является одной из самых эффективных [7 - 9].

В настоящей статье приводятся результаты исследований получения МПС низкой водопотребности на основе молотого до промышленной тонкости помола цементного клинкера и рядовых химических добавок – пластифицирующей добавки (лигносульфоната технического (ЛСТ)) и ускорителя твердения (силиката натрия ($\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$)).

Получение аналитических зависимостей, описывающих влияние количества вводимых в сырьевую смесь добавок на подвижность цементных и безгипсовых композиций, а также прочность композитов на их основе – осуществлялось с помощью метода математического моделирования на основе трёхфакторного плана эксперимент и симплекс диаграммы «состав – свойство» [10]. Матрица планирования эксперимента приведена в таблице №1. Варьируемыми факторами являлись: v_1 – количество пластифицирующей добавки, в % от массы клинкера; v_2 – количество ускорителя твердения, в % от массы клинкера; v_3 – водотвердое отношение смеси (В/Т).

Таблица № 1

Матрица эксперимента на диаграмме «состав – свойство»

№ точки плана	В нормализованных единицах			В натуральных единицах		
	v_1	v_2	v_3	$v_1, \%$	$v_2, \%$	v_3
1	1	0	0	2,25	0	0,22
2	0	1	0	0	4,5	0,22
3	0	0	1	0	0	0,31
4	1/3	2/3	0	0,75	3,0	0,22
5	2/3	1/3	0	1,5	1,5	0,22
6	0	1/3	2/3	0	1,5	0,28
7	0	2/3	1/3	0	3,0	0,25
8	2/3	0	1/3	1,5	0	0,25
9	1/3	0	2/3	0,75	0	0,28

10	1/3	1/3	1/3	0,75	1,5	0,25
----	-----	-----	-----	------	-----	------

Оптимизация разрабатываемых сырьевых смесей осуществлялась по реологическим и прочностным параметрам – по растекаемости на вискозиметре типа Сутгарда сырьевых смесей и показателям прочности цементных композитов при сжатии в возрасте 28 суток после их твердения в нормальных влажностных условиях.

Моделирование заключалось в определении коэффициентов регрессии приведенного полинома Шеффе [10] и построения с их помощью графиков измерения исследуемых характеристик в пределах поля эксперимента (рис. 1 и 2). Значимые коэффициенты регрессии полиномиального уравнения вида:

$$Y = a_1v_1 + a_2v_2 + a_3v_3 + a_{12}v_1v_2 + a_{13}v_1v_3 + a_{23}v_2v_3 + a_{1-2}v_1v_3(v_1 - v_2) + a_{1-3}a_1a_3(v_1 - v_3) + a_{2-3}v_2v_3(v_2 - v_3) + a_{123}v_1v_2v_3$$

представлены в таблице №2.

Таблица № 2

Значимые коэффициенты регрессии

a_1	a_2	a_3	a_{12}	a_{13}	a_{23}	a_{1-2}	a_{1-3}	a_{2-3}	a_{123}
Растекаемость композиций с комплексной добавкой (Н), см									
11,5	5,0	5,2	-12,82	66,6	3,6	-11,92	-29,7	-7,65	-159,5
Прочность композитов при сжатии (R), МПа									
2,02	5,91	37,21	149,3	-80,36	115,5	-26,11	74,67	164,3	595,3

Анализ диаграмм выявил высокую эффективность снижения водотвердого отношения в безгипсовых клинкерных сырьевых смесях с доступной пластифицирующей добавкой ЛСТ, которая совместно с жидким раствором силиката натрия модифицируется и в значительной степени улучшает свои пластифицирующие свойства. Отличительной способностью

таких сырьевых смесей может являться их снижение водотвердого отношения до значений $0,18 \div 0,2$.

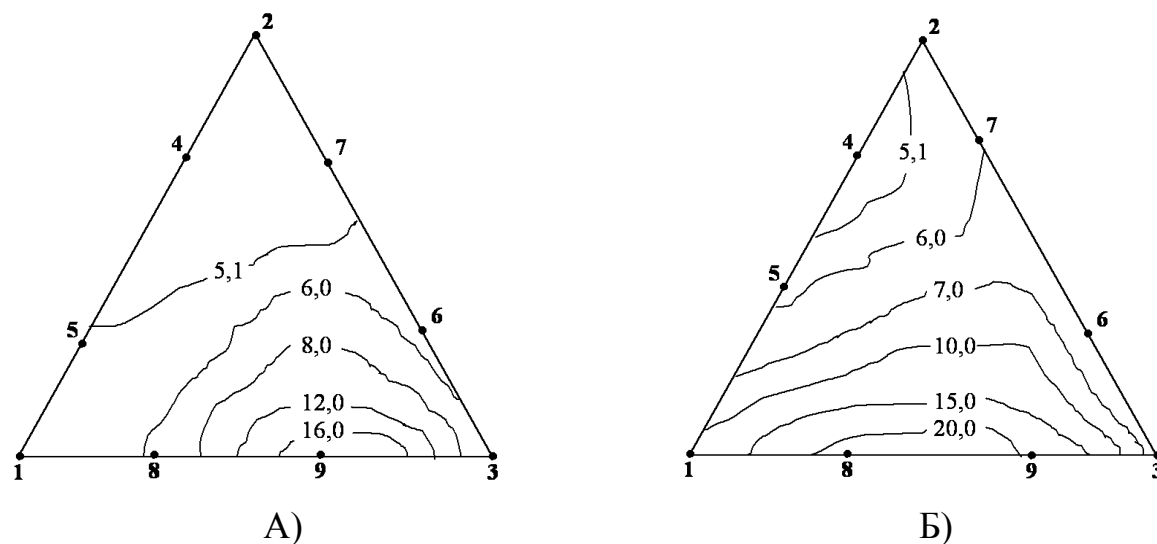


Рис. 1. – Растекаемость композиций с комплексной добавкой силиката натрия и ЛСТ на основе: А) цемента, Б) безгипсового цемента

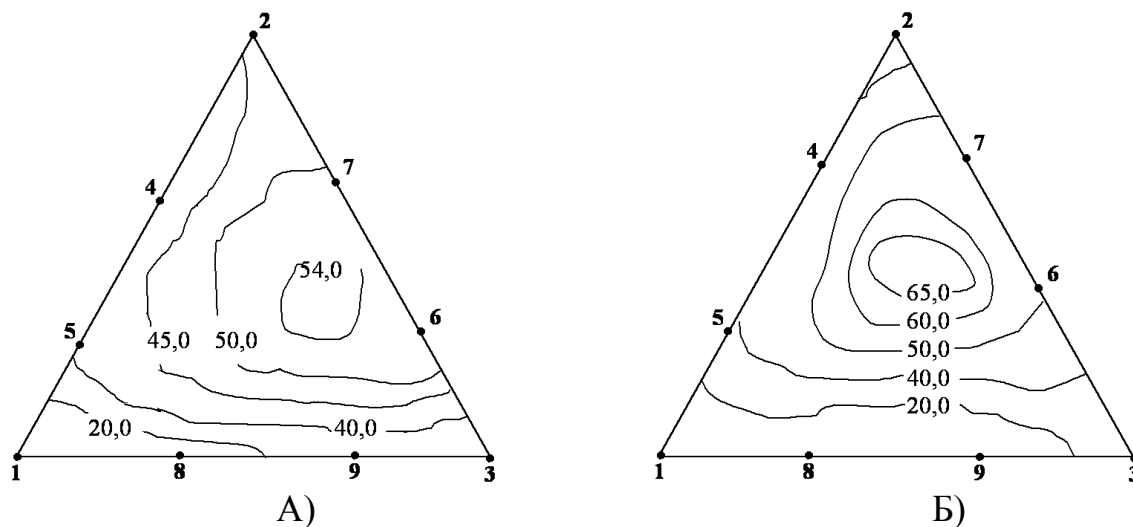


Рис. 2. – Прочность композитов с комплексной добавкой силиката натрия и ЛСТ на основе: А) цемента, Б) безгипсового цемента

Исследования физико-механических характеристик клинкерных композитов с многокомпонентным модификатором показывают, что композиты на основе модифицированного безгипсового портландцемента

имеют повышенную твердость и прочность [7, 8]. Экспериментальные значения представлены в таблице № 3.

Таблица № 3

Физико-механические характеристики композитов [7, 8]

№	Свойство, единица измерения	Композиты на основе	
		цемента при В/Т=0,28	безгипсового цемента и комплексной добавки, В/Т=0,25
1	Твердость, Т МПа	154,44	208,34
2	Модуль деформации, E_{g15} МПа	2357,84	3504,32
3	Коэффициент энергоемкости материала, $K_{эн}$ Дж/м ³	0,7242	0,869
4	Коэффициент пластичности, $K_{пл}$	0,0769	0,0784
5	Прочность при сжатии, $R_{сж}$ МПа	41,31	55,73

Анализ значений водопоглощения и коэффициента микропористости позволяют сделать вывод, что у образцов на основе безгипсового портландцемента с комплексной добавкой достаточно мало пор, способных насыщаться водой при атмосферном давлении, а также повышенное содержание условно замкнутых пор. Пористость их ниже по сравнению с пористостью образцов из рядового цемента, что свидетельствует об организации оптимальной структуры порового пространства цементного камня на основе таких модифицированных сырьевых композиций (экспериментальные значения представлены в таблице №4). Сформированная таким образом структура будет обеспечивать высокую плотность, морозостойкость и долговечность цементного камня композитов.

Таблица №4

Характеристики поровой структуры цементных композитов [7, 8]

№	Свойство, единица измерения	Композиты на основе	
		цемента при В/Т=0,28	безгипсового цемента с комплексной добавкой при В/Т=0,25
1	Водопоглощение по массе, W_b , %	13,91	10,83
2	Объемное водопоглощение, W_0 , %	28,81	19,37
3	Равновесное поглощение, W_p , %	8,37	8,66
4	Истинная пористость, Π_n , %	29,02	24,25
5	Коэффициент микропористости, K_m	0,607	0,8
6	Показатель среднего размера пор, λ_2	2,445	1,327
7	Однородность пор по размерам, α	0,551	0,731

Таким образом, модифицированные смеси на основе безгипсового цементного клинкера низкой водопотребностью являются эффективными вяжущими материалами для производства неэнергоемких бетонов с низким водоцементным отношением. Следующим этапом еще большего повышения эффективности модифицированных безгипсовых портландцементных вяжущих с низкой водопотребностью для строительных материалов и конструкций станет замещение части клинкера в вяжущем на минеральную добавку. Это позволит более полно раскрыть вяжущие свойства безгипсового цемента в таких сырьевых смесях, будет способствовать экономии энергетических и материальных ресурсов при производстве клинкерных вяжущих и цементных бетонов на их основе для строительных конструкций широкого наименования, увеличит объем производства и расширит ассортимент цементных вяжущих на существующих мощностях.

Литература

1. Okamura H., Ouchi M. Self-compacting concrete // Journal of advanced concrete technology. 2003. Т. 1. №1. С. 5-15.
2. Перфилов В.А., Габова В.В., Лукьяница С.В. Бетон для строительства подводных нефтегазовых сооружений // Инженерный вестник Дона, 2020, №11. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2020/6673.
3. Li Z., Zhou X., Ma H., Hou D. Advanced concrete technology. John Wiley & Sons, 2022. 612 с.
4. Терешкин И.П. Высокоэффективные пластифицирующие добавки с наноструктурами для модифицирования свойств цементных смесей, растворов и бетонов // Инженерный вестник Дона, 2019, №9. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N9y2019/6219.
5. Баженов Ю.М. Технология бетона. Москва: АСВ, 2011. 528 с.
6. Баженов Ю.М., Алимов Л.А., Воронин В.В. Модифицированные бетоны двойного структурообразования. Москва: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2017. 110 с.
7. Терешкин И.П. Разработка вяжущих низкой водопотребности для стендовых технологий: дисс. ...канд.тех. наук: 05.23.05 / Терешкин Иван Петрович. – Саранск, 2001. – 244 с.
8. Кильдеев И.Р., Панчина А.А., Терешкин И.П. Исследование физико-механических свойств и химического сопротивления композитов на основе безгипсовых портландцементных вяжущих с низкой водопотребностью // Огарев-online. Раздел «Технические науки». 2018, №9. URL: journal.mrsu.ru/arts/issledovanie-fiziko-mexanicheskix-svoystv-i-ximicheskogo-soprotivleniya-kompozitov-na-osnove-bezgipsovyx-portlandcementnyx-vyazhushhix-s-nizkoj-vodopotrebnostyu.
9. Кожникова Е.А. Оценка влияния водоцементного отношения на прочность бетона с активированным цементом // Инженерный вестник Дона,

2017, №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2017/4074

10. Вознесенский В.А., Ляшенко Т.В., Абакумов В.В., Абдыкалыков А. Методические указания по моделированию систем «Смеси – технология – свойства». – Одесса: ОИСИ, 1985. – 63 с.

References

1. Okamura H., Ouchi M. Journal of advanced concrete technology. 2003. T. 1. №1. pp. 5-15.

2. Perfilov V.A., Gabova V.V., Lukianitsa S.V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2020, № 11. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2020/6673.

3. Li Z., Zhou X., Ma H., Hou D. Advanced concrete technology. John Wiley & Sons, 2022. 612 с.

4. Tereshkin I.P. Inzhenernyy vestnik Dona, 2019, №9. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N9y2019/6219.

5. Bazhenov Iu. M. Tekhnologiya betona [Concrete technology]. Moskva: ASV. 2011. 528 p.

6. Bazhenov Yu.M., Alimov L.A., Voronin V.V. Modifitsirovannye betony dvoynogo strukturoobrazovaniya [Modified concretes of double structuring]. Moskva: Izdatel'stvo Assotsiatsii stroitel'nykh vuzov, 2017. 110 p. 13.

7. Tereshkin I.P. Razrabotka vyazhushih nizkoy vodopotrebnosti dlya stendovyh tehnologiy [Development of astringent low water requirements for bench technologies]: diss. ...Cand. Sciences: 05.23.05. Tereshkin Ivan Petrovich. Saransk, 2001. 244 p.

8. Kildeev I.R., Panchina A.A., Tereshkin I.P. Огарев-online, 2018, №9. URL: journal.mrsu.ru/arts/issledovanie-fiziko-mexanicheskix-svoystv-i-ximicheskogo-soprotivleniya-kompozitov-na-osnove-bezgipsovyx-portlandcementnyx-vyazhushhix-s-nizkoj-vodopotrebnostyu.

9. Kozhnikova E.A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2017, №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2017/4074



10. Voznesenskij V.A., Lyashenko T.V., Abakumov V.V., Abdykalykov A. Metodicheskie ukazaniya po modelirovaniyu sistem «Smesi – tekhnologiya – svojstva» [Guidelines for modeling systems «Mixtures – technology – properties»]. Odessa: OISI, 1985. 63 p.

Дата поступления: 25.10.2023

Дата публикации: 16.12.2023