



УДК 691.332

Мухаметрахимов Рустем Ханифович

кандидат технических наук, доцент

E-mail: muhametrahimov@mail.ru

Галаутдинов Альберт Радикович

ассистент

E-mail: galautdinov89@mail.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

Механоактивированное гипсоцементно-пуццолановое вяжущее на основе модифицированного низкомарочного сырья¹

Аннотация

Постановка задачи. Гипсоцементно-пуццолановые вяжущие на основе низкомарочного гипса и изделия на их основе удовлетворяют современным экологическим и экономическим требованиям. Однако низкая водостойкость гипса ограничивает их широкое применение. Цель исследования – расширить область применения гипсоцементно-пуццоланового вяжущего за счет повышения его эксплуатационных характеристик путем модификации структуры химическими добавками с последующей механоактивацией вяжущего в водной среде.

Результаты. В работе изучены реологические и физико-механические свойства модифицированного низкомарочного гипсоцементно-пуццоланового вяжущего. Показано положительное влияние химической модификации вяжущего на кинетику его начального структурообразования и твердения, на пределы прочности и показатели поровой структуры. Установлено, что механоактивация модифицированного низкомарочного вяжущего в водной среде в течение 1-5 минут приводит к повышению пределов прочности образцов при сжатии на 23,3-28,9 %, при изгибе – на 50,3-61,4 %.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в возможности получения изделий с повышенными физико-механическими характеристиками при сокращении сырьевых затрат за счет модификации структуры гипсоцементно-пуццоланового вяжущего химическими добавками с последующей механоактивацией в водной среде.

Ключевые слова: гипсоцементно-пуццолановое вяжущее, комплексная добавка, пористость, кинетика твердения, механоактивация.

Введение

Для современного строительства необходимы экологически безопасные и долговечные материалы и изделия, основу которых составляет широко распространенное, доступное сырье, а также вторичное сырье и отходы различных производств [1]. Это позволяет снизить затраты на производство материалов и изделий, потребность в капитальных вложениях на развитие материальной базы строительства и одновременно решать задачи охраны окружающей среды. К ним можно отнести материалы и изделия на основе гипсового и гипсоцементно-пуццоланового вяжущего (ГЦПВ) [2, 3, 4] с применением низкомарочного гипса. Данные материалы и изделия имеют ряд преимуществ по сравнению с другими широко применяемыми в настоящее время аналогами, которые обусловлены широко развитой отечественной минерально-сырьевой базой, значительным количеством разведанных запасов, невысокой стоимостью и экологичностью производства.

Вместе с тем, применение изделий на основе гипса, в том числе ГЦПВ, в некоторой степени сдерживается в связи с присущими им недостатками, такими как низкая водостойкость, быстрые сроки схватывания смеси, затрудняющие процессы формования

¹Работа поддержана грантом Президента РФ для государственной поддержки молодых российских ученых (МК-2509.2018.8).

изделий, нестабильность гипсоцементных систем, связанная с образованием этtringита при гидратации вяжущего, а также относительно невысокие прочностные показатели.

Для повышения физико-механических свойств изделий на основе ГЦПВ традиционно применяются пластифицирующие добавки, введение которых снижает водопотребность смеси и приводит к формированию более плотной поровой структуры образцов [5, 6]. Это позволит повысить показатели водостойкости готовых изделий, а также их пределы прочности. Однако уменьшение количества воды затворения сокращает сроки начала и конца схватывания гипсоцементно-пуццолановых систем. В этой связи весьма интересны исследования, направленные на разработку комплексных пластифицирующих добавок, обладающих эффектом замедления кинетики начального структурообразования вяжущих, не влияющие на кинетику твердения и прочность изделий на их основе [7, 8].

Поэтому работы, направленные на исследования современных пластифицирующих добавок в гипсоцементно-пуццолановых композициях, а также разработка комплексных добавок (КД), обладающих эффектом повышения прочности изделий при замедлении кинетики начального структурообразования, является актуальной задачей, позволяющей расширить область применения ГВ при производстве широкого спектра строительных изделий [9, 10].

Другим эффективным способом повышения физико-механических характеристик изделий является механохимическая активация вяжущего на основе низкомарочного сырья [11, 12, 13]. При механоактивации смеси часть подводимой механической энергии преобразуется с появлением новых поверхностей, различных локальных дефектов, характер и количество которых определяет химические свойства гидратных новообразований [14].

Выбор эффективного способа активации гипсоцементно-пуццолановой смеси, осуществляемый по критерию максимальных модифицирующих эффектов активации и минимальных удельных энергетических затрат, позволит существенно повысить качество строительных материалов, а также управлять процессами структурообразования композиционных вяжущих [15].

Материалы и методы исследований

При проведении экспериментальных исследований были использованы следующие материалы:

а) вяжущие:

- гипсовое вяжущее Г6БП производства ООО «Аракчинский гипс» ГОСТ 125-79;
- портландцемент ПЦ500-Д0-Н Белгородского цементного завода.

б) активная минеральная добавка: активированный метакаолин (метакаолин-А) [16, 17], полученный термической обработкой каолина, произведенного ООО НПП «Промышленные минералы» по ТУ 5729-016-48174985-2003, при температуре 600°C в течение 45 минут, с последующей кислотной активацией в растворе муравьиной кислоты при массовом соотношении Т:Ж = 1:1 и измельчением.

в) пластифицирующие добавки (ПД):

- суперпластификатор «БЕСТ-ТБ», производства ООО «Инновационные Технологии»: суперпластификатор первой группы, сополимер на основе эфиров карбоновых кислот с фосфатным компонентом. Темно-коричневая жидкость с плотностью при температуре 20°C – 1,24 г/см³, массовая доля сухого вещества – 20-30%;

- пластификатор первой группы «Одолит-К», произведенный ООО «Сервис-Групп» по ТУ 5745-01-96326574-08 на карбоксилатной основе – полупрозрачная вязкая жидкость (водный раствор без содержания хлора), плотность – 1,06 г/см³, рН при температуре 20°C – 6,9, придает гипсоцементной смеси самоуплотняющиеся свойства, ускоряет схватывание.

г) вода:

- водопроводная питьевая вода по ГОСТ 23732.

Для получения ГЦПВ смешивали его компоненты в сухом виде в необходимых соотношениях. Реологические свойства гипсоцементно-пуццолановой смеси и пределы прочности гипсоцементно-пуццоланового камня (после твердения в течение 28 суток)

определяли по методике ГОСТ 23789-79. Механоактивацию ГЦПВ осуществляли в водной среде в присутствии разработанной КД.

Структура и свойства модифицированного гипсоцементно-пуццоланового камня

В ранее выполненных исследованиях установлено, что суперпластификатор первой группы «Бест-ТБ» обладает эффектом замедления кинетики начального структурообразования, что выражается в значительном удлинении сроков начала и конца схватывания гипсоцементно-пуццолановой смеси [18].

Также установлено [19], что введение в состав вяжущего гиперпластификатора «Одолит-К» приводит к значительному снижению водопотребности смеси и повышению пределов прочности образцов при изгибе и сжатии. Однако при использовании данного гиперпластификатора наблюдается сокращение сроков схватывания смеси, что значительно затрудняет процесс формования образцов.

Вышеуказанные пластифицирующие добавки «Бест-ТБ» и «Одолит-К» [20] были приняты для дальнейших исследований в качестве компонентов разрабатываемой КД для ГЦПВ. Результаты экспериментальных исследований влияния КД с различным содержанием в составе вяжущего и соотношением входящих в ее состав компонентов на нормальную густоту и сроки схватывания гипсоцементно-пуццолановой смеси приведены в табл. 1.

Таблица 1

Влияния КД на нормальную густоту и сроки схватывания гипсоцементно-пуццолановой смеси

Вид ГП		Содержание КД, % от массы вяжущего	В/Т	Сроки схватывания, мин	
Одолит-К	Бест-ТБ			Начало	Конец
-	-	-	0,53	7,5	10
75	25	1	0,38	9,5	11,5
50	50		0,41	19,5	21
25	75		0,43	40	43
75	25	1,5	0,35	24	26,5
50	50		0,38	56	61
25	75		0,42	64	69,5

Как видно из табл. 1, разрабатываемая КД оказывает положительное влияние на процессы структурообразования гипсоцементно-пуццоланового камня, что выражается в изменении водопотребности вяжущего и сроков схватывания смеси. Так применение КД в зависимости от ее состава и содержания в составе смеси позволяет значительно снизить водопотребность ГЦПВ – на 19-34 %, и удлинить сроки начала и конца схватывания на 56,5 мин. и 59,5 мин. соответственно, что упрощает процессы формования образцов.

Снижение водопотребности ГЦПВ способствует формированию более плотной структуры образцов. Влияние КД и ее компонентов на формирование поровой структуры ГЦПК показано в табл. 2. Исследования выполняли по методике, изложенной в ГОСТ 12730.4-78. Для исключения растворения сульфата кальция, образцы гипсоцементно-пуццоланового камня (ГЦПК) насыщали керосином.

Таблица 2

Показатели пористости образцов ГЦПК

Вид добавки	Содержание добавки, %	Показатели поровой структуры				
		Полный объем пор, (P _п)	Объем открытых капиллярных пор, (P _о)	Объем открытых некапиллярных пор, (P _{не})	Объем условно-закрытых пор, (P _з)	Показатель микропористости, (P _{мк})
-	-	42,2	23,7	1,2	17,3	0,18
КД	2,0	31,1	6,1	0,2	24,8	0,57

Из табл. 2 следует, что введение КД в состав ГЦПВ приводит к улучшению показателей микропористости образцов ГЦПК по сравнению с составом без добавок. Так в образцах с КД наблюдается снижение полного объема пор на 11,1 %, снижение объема открытых капиллярных пор на 17,6 %, открытых некапиллярных пор – на 1,0 %, увеличение объема условно-закрытых пор на 7,5 %, показателя микропористости – на 0,39. Это свидетельствует о формировании более плотной структуры ГЦПК.

Применение разрабатываемой КД для модификации ГЦПВ позволяет увеличить пределы прочности образцов при изгибе и сжатии на всех этапах твердения. Кинетика твердения гипсоцементно-пуццолановой смеси с КД различного состава в количестве 1,5 % от массы вяжущего показана на рис. 1, 2. За 100 % принята прочность контрольного образца в возрасте 28 суток.

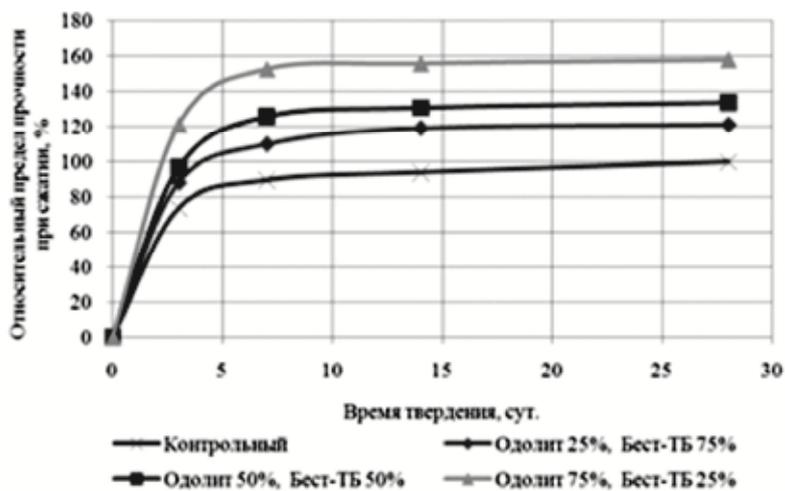


Рис. 1. Зависимости относительного предела прочности при сжатии от времени твердения образцов

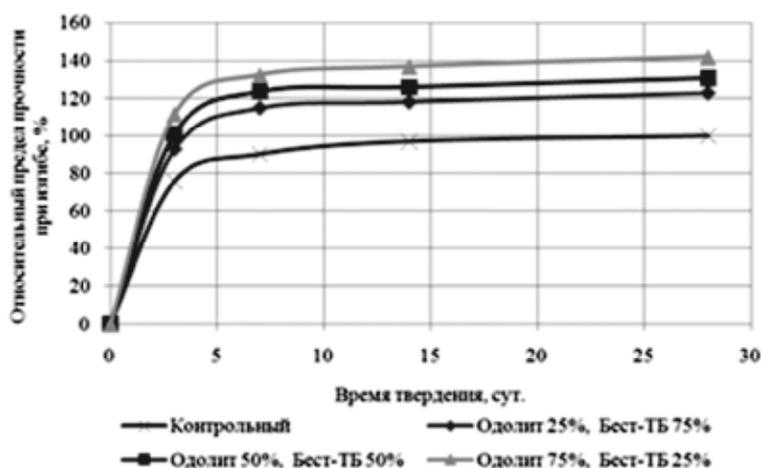


Рис. 2. Зависимости относительного предела прочности при изгибе от времени твердения образцов

Из рис. 1, 2 видно, что введение в состав вяжущего КД с различным содержанием компонентов позволяет повысить относительный предел прочности при сжатии образцов в трехсуточном возрасте на 14,5-47,5 %, при изгибе – на 17,2-35,7 %; в возрасте 28 суток при сжатии – на 21,1-57,9 %, при изгибе – на 23,2-41,9 %. Увеличение пределов прочности при изгибе и сжатии образцов на основе ГЦПВ с добавлением КД свидетельствует о формировании более плотной поровой структуры.

Анализ полученных экспериментальных данных свидетельствует об улучшении свойств образцов ГЦПК, модифицированных разработанной КД, по сравнению с образцами без добавок, что обусловлено синергизмом действия компонентов КД.

Механоактивация гипсоцементно-пуццоланового вяжущего

На данном этапе выполнены экспериментальные исследования влияния механоактивации ГЦПВ с применением разработанной КД на физико-механические характеристики ГЦПК.

Зависимость относительного предела прочности при сжатии образцов ГЦПК от продолжительности механоактивации приведена на рис. 3, при изгибе – на рис. 4. За 100 % приняты значения пределов прочности при сжатии и изгибе образцов без активации.

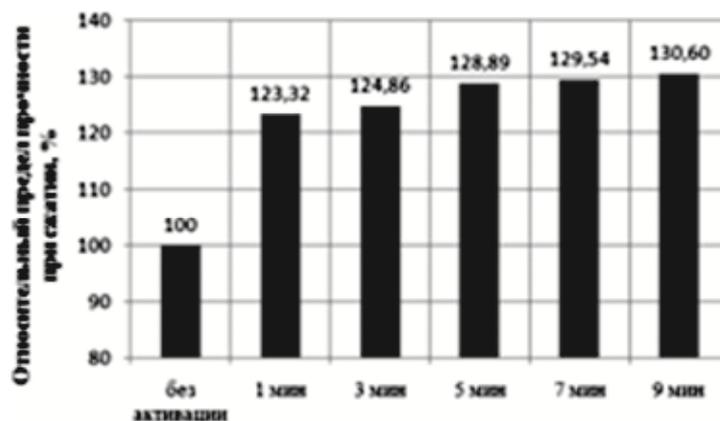


Рис. 3. Зависимость относительного предела прочности при сжатии образцов ГЦПВ от продолжительности механоактивации

Анализ данных рис. 3, свидетельствует о существенном влиянии продолжительности механоактивации гипсоцементно-пуццолановой смеси на пределы прочности при сжатии образцов ГЦПК. При активации в течение 1 минуты наблюдается увеличение относительного предела прочности при сжатии образцов на 23,3 %, в течение 3 минут – на 24,9 %, в течение 5 минут – на 28,9 %, в течение 7 минут – на 29,5 %, в течение 9 минут – на 30,6 %.

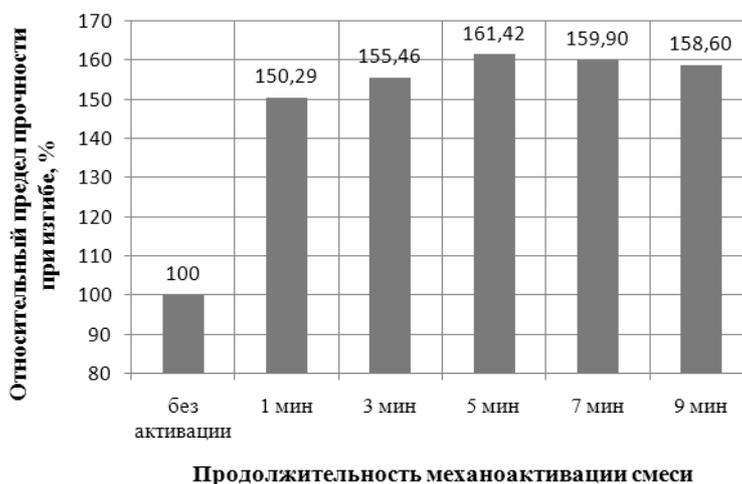


Рис. 4. Зависимость относительного предела прочности при изгибе образцов ГЦПВ от продолжительности механоактивации

Анализ данных, приведенных на рис. 4, свидетельствует о существенном влиянии продолжительности механоактивации гипсоцементно-пуццолановой смеси также и на пределы прочности при сжатии образцов ГЦПК. Установлено, что при активации в течение 1 минуты предел прочности при изгибе увеличивается на 50,3 %, в течение 3 минут – на 55,5 %, в течение 5 минут – на 61,4 %, в течение 7 минут – на 59,9 %, в течение 9 минут – на 58,6 %.

Согласно полученным экспериментальным данным, наилучшие показатели по критерию повышения пределов прочности при изгибе и сжатии образцов ГЦПК достигаются при механоактивации гипсоцементно-пуццолановой смеси в течение 5 минут. При дальнейшем увеличении длительности механоактивации наблюдается лишь незначительное увеличение пределов прочности при сжатии и снижение пределов прочности при изгибе.

Заключение

По результатам выполненных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Установлено, что разработанная КД оказывает положительное влияние на процессы структурообразования гипсоцементно-пуццоланового камня и в зависимости от ее состава и содержания в составе смеси позволяет значительно снизить водопотребность ГЦПВ – на 19-34 %, и регулировать сроки начала и конца схватывания в интервалах 2-56,5 мин. и 1,5-59,5 мин. соответственно, что упрощает процессы формования образцов.

2. Выявлено положительное влияние КД на показатели поровой структуры образцов ГЦПК с активированным метакаолином. Так в образцах с КД наблюдается снижение полного объема пор на 11,1 %, снижение объема открытых капиллярных пор на 17,6 %, открытых некапиллярных пор – на 1,0 %, увеличение объема условно-закрытых пор на 7,5 %, показателя микропористости – на 0,39. Это свидетельствует о формировании более плотной структуры ГЦПК.

3. Изучено влияние КД на кинетику набора прочности гипсоцементно-пуццоланового камня, на основе активированного метакаолина. Установлено, что введение КД позволяет увеличить пределы прочности образцов при изгибе и сжатии на всех этапах твердения. Так введение в состав вяжущего КД с различным содержанием компонентов позволяет повысить относительный предел прочности при сжатии образцов в трехсуточном возрасте на 14,5-47,5 %, при изгибе – на 17,2-35,7 %; в возрасте 28 суток при сжатии – на 21,1-57,9 %, при изгибе – на 23,2-41,9 %.

4. Установлено, что механоактивация модифицированного ГЦПВ оказывает положительное влияние на физико-механические свойства ГЦПК, что выражается в повышении пределов прочности при изгибе и сжатии образцов. В зависимости от продолжительности активации (1-9 мин.) предел прочности при сжатии увеличивается на 23,3-30,6 %, при изгибе – на 50,29-58,6 %. Оптимальная продолжительность механоактивации образцов ГЦПВ составляет 5 минут, т.к. дальнейшее увеличение длительности активации приводит лишь к незначительному увеличению прочностных характеристик.

5. Применение разработанного механоактивированного гипсоцементно-пуццоланового вяжущего на основе модифицированного низкомарочного сырья позволит повысить эксплуатационные характеристики готовых изделий и расширить область их применения.

Список библиографических ссылок

1. Петропавловская В. Б., Новиченкова Т. Б., Бурьянов А. Ф., Петропавловский К. С., Завадько М. Ю. Получение гипсовых композитов, модифицированных отходом базальтового производства // Строительные материалы. 2016. № 7. С. 13–15.
2. Юнусова З. А., Полякова И. В., Асянова В. С., Бабков В. В., Ломакина Л. Н. Разработка гипсоцементно-пуццоланового вяжущего на основе строительного гипса и отходов гипсового производства // Проблемы строительного комплекса России. Материалы XVI Международной научно-технической конференции. 2012. С. 34–37.
3. Mukhametrakhimov R. Kh., Galautdinov A. R., Lukmanova L. V. Influence of active mineral additives on the basic properties of the gypsum cementpozzolan binder for the manufacture of building products // MATEC Web of Conferences. 2017. № 106. P. 1–9.
4. Гайфуллин А. Р., Халиуллин М. И., Рахимов Р. З. Состав и структура камня композиционного гипсового вяжущего с известью и гибридной минеральной добавкой // Строительные материалы. 2014. № 7. С. 28–31.

5. Ohta A., Sugiyama T., Tanaka Y. Fluidizing Mechanism and Application of Polycarboxylate-Based Superplasticizers // Proceedings Fifth CANMET/ACI Int. Conference. 1997. P. 173–179.
6. Yamada K., Takahashi O., Hanehara S., Matsuhisa M. Effects of the chemical structure on the properties of polycarboxylate-type super-plasticizer // Cement and Concrete Research. 2000. V. 30 (2). P. 197–207.
7. Рязанов Р. Р., Мухаметрахимов Р. Х., Изотов В. С. Дисперсно-армированные строительные композиционные материалы на основе гипсового вяжущего // Известия КГАСУ. 2011. № 3 (17). С. 145–149.
8. Галаутдинов А. Р., Мухаметрахимов Р. Х. Повышение водостойкости гипсоцементно-пуццоланового вяжущего на основе низкомарочного гипса // Известия КГАСУ. 2016. № 4 (38). С. 333–343.
9. Shukla Aishwary, Afaq Khan, Abhishek Kumar. A Review of Research on Building System Using Glass Fiber Reinforced Gypsum Wall Panels // International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET). 2016. Vol. 03. Iss. 02. P. 1443–1449.
10. Мухаметрахимов Р. Х., Галаутдинов А. Р., Дикина А. Н. Технология изготовления и монтажа модифицированных гипсоволокнистых листов // Известия КГАСУ. 2016. № 2 (36). С. 194–200.
11. Способ приготовления гипсоцементно-пуццоланового вяжущего: пат. 2550630. Рос. Федерация. № 2014114814/03 ; заявл. 14.04.14 ; опубл. 10.05.15. Бюл. № 13. 7 с.
12. Способ приготовления гипсоцементно-пуццолановой смеси: пат. 2551176 Рос. Федерация. № 2014114813/03 ; заявл. 14.04.14 ; опубл. 20.05.15. Бюл. № 14. 7 с.
13. Способ приготовления гипсоцементно-пуццолановой композиции: пат. 2552274 Рос. Федерация. № 2014114815/03 ; заявл. 14.04.14 ; опубл. 10.06.15. Бюл. № 16. 7 с.
14. Кузьмина В. П. Механохимия в бетоне. М. : АСВ, 2013. 414 с.
15. Сучков В.П. Механохимическая активация в технологии переработки гипсового сырья // Градостроительство и архитектура. 2011. № 4. С. 82–86.
16. Abdul Rahim Z., Srinivasa Rao P. Effect of Incorporating Metakaolin As Mineral Admixture and Crimped Fibres on Properties of High Strength Concrete // 7th RILEM International Symposium on Fibre Reinforced Concrete. 2008. Vol. 1. P. 155–161.
17. Chen Y. L., You W.L. The composite effect of mineral additives to the performances of Concrete // Proceedings of the 12th International Congress on the Chemistry of Cement. Montreal. 2007. P. 289–301.
18. Мухаметрахимов Р. Х., Галаутдинов А. Р., Лукманова Л. В. Влияние пластифицирующих добавок на основные свойства гипсоцементно-пуццоланового вяжущего на основе низкомарочного и техногенного сырья // Известия КГАСУ. 2016. № 4 (38). С. 382–387.
19. Изотов В. С., Мухаметрахимов Р. Х., Галаутдинов А. Р. Комплексная добавка для повышения эффективности гипсоцементно-пуццоланового вяжущего // Строительные материалы. 2016. № 8. С. 70–73.
20. Комплексная добавка: пат. 2519313. Рос. Федерация. № 2013103948/03 ; заявл. 29.01.13 ; опубл. 10.06.14. Бюл. № 16. 5 с.

Mukhametrakhimov Rustem Khanifovich

candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: muhametrahimov@mail.ru

Galautdinov Albert Radikovich

assistant

E-mail: galautdinov89@mail.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Mechanical activated gypsum cement-pozzolan binder based on modified low branded materials

Abstract

Problem statement. Gypsum cement-pozzolan binders based on low branded gypsum and products based on them satisfy modern ecological and economic requirements. However, low water resistance of gypsum limits their wide application. The aim is to expand the scope of the gypsum cement-pozzolan binder by improving its performance characteristics by modifying the structure with chemical additives followed by mechanoactivation of the binder in an aqueous area.

Results. The paper studied the rheological and mechanical properties of the modified low branded gypsum cement-pozzolan binder. The positive effect of the chemical modification of the binder on the kinetics of the initial structure formation, on the limits of strength, on curing kinetics and performance sample porosity. It is found that the mechanical activation of the modified low-branded gypsum cement-pozzolan binder in an aqueous area for 1-5 minutes increases the limits of compressive strength specimens to 23,3-28,9 %, flexural – at 50,3-61,4 %.

Conclusions. The significance of the obtained results for the construction industry consists in the possibility of obtaining products with increased physical and mechanical characteristics while reducing raw material costs by modifying the structure of the gypsum cement-pozzolan binder with chemical additives followed by mechanoactivation in the aquatic area.

Keywords: gypsum cement-pozzolan binder, complex additive, porosity, hardening kinetics, mechanical activation.

References

1. Petropavlovskaja V. B., Novichenkova T. B., Bur'janov A. F., Petropavlovskij K. S., Zavad'ko M. Ju. Production of gypsum composites modified by waste from basalt production // *Stroitel'nye materialy*. 2016. № 7. P. 13–15.
2. Junusova Z. A., Poljakova I. V., Asjanova V. S., Babkov V. V., Lomakina L. N. Development of gypsum cement pozzolan binder based on building gypsum and gypsum wastes // *Problemy stroitel'nogo kompleksa Rossii. Materials of the XVI International Scientific and Technical Conference*. 2012. P. 34–37.
3. Mukhametrakhimov R. Kh., Galautdinov A. R., Lukmanova L. V. Influence of active mineral additives on the basic properties of the gypsum cement pozzolan binder for the manufacture of building products // *MATEC Web of Conferences*. 2017. № 106. P. 1–9.
4. Gajfullin A. R., Haliullin M. I., Rahimov R. Z. Composition and Structure of Composite Gypsum Binder Stone with Lime and Hybrid Mineral Additive // *Stroitel'nye materialy*. 2014. № 7. P. 28–31.
5. Ohta A., Sugiyama T., Tanaka Y. Fluidizing Mechanism and Application of Polycarboxylate-Based Superplasticizers // *Proceedings Fifth CANMET/ACI Int. Conference*. 1997. P. 173–179.
6. Yamada K., Takahashi O., Hanehara S., Matsuhisa M. Effects of the chemical structure on the properties of polycarboxylate-type super-plasticizer // *Cement and Concrete Research*. 2000. V. 30 (2). P. 197–207.
7. Rjazapov R. R., Muhametrahimov R. Kh., Izotov V. S. Dispersion-reinforced building composite materials based on gypsum binder // *Izvestiya KGASU*. 2011. № 3 (17). P. 145–149.
8. Galautdinov A.R., Muhametrahimov R.Kh. Increased water resistance gypsum cement-pozzolan binder based on low branded gypsum // *Izvestiya KGASU*. 2016. № 4 (38). P. 333–343.
9. Shukla Aishwary, Afaque Khan, Abhishek Kumar. A Review of Research on Building System Using Glass Fiber Reinforced Gypsum Wall Panels // *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*. 2016. Vol. 03. Iss. 02. P. 1443–1449.
10. Muhametrahimov R. Kh., Galautdinov A. R., Dikina A. N. The technology of manufacture and installation of modified gypsum plates // *Izvestiya KGASU*. 2016. № 2 (36). P. 194–200.

11. A method of preparing gypsum cement-pozzolan binder: pat. 2550630 of the Rus. Federation. № 2014114814/03 ; decl. 14.04.14 ; publ. 10.05.15. Bull. in № 13. 7 p.
12. A method of preparing gypsum cement-pozzolan mixture: pat. 2551176 of the Rus. Federation. № 2014114813/03 ; decl. 14.04.14 ; publ. 20.05.15. Bull. in № 14. 7 p.
13. A method of preparing gypsum cement-pozzolan composition: pat. 2552274 of the Rus. Federation. № 2014114815/03 ; decl. 14.04.14 ; publ. 10.06.15. Bull. in № 16. 7 p.
14. Kuz'mina V. P. Mechanical chemistry in concrete. M. : ASV, 2013. 414 p.
15. Suchkov V. P. Mechanochemical activation in the technology of processing gypsum raw materials // Gradostroitel'stvo i arhitektura. 2011. № 4. P. 82–86.
16. Z. Abdul Rahim, P. Srinivasa Rao. Effect of Incorporating Metakaolin As Mineral Admixture and Crimped Fibres on Properties of High Strength Concrete // 7th RILEM International Symposium on Fibre Reinforced Concrete. 2008. Vol. 1. P. 155–161.
17. Chen Y. L., You W. L. The composite effect of mineral additives to the performances of Concrete // Proceedings of the 12th International Congress on the Chemistry of Cement. Montreal. 2007. P. 289–301.
18. Muhametrahimov R. Kh., Galautdinov A. R., Lukmanova L. V. Effect of plasticizers on the basic properties of the gypsum cement-pozzolan binder based on low branded and technogenic raw materials // Izvestija KGASU. 2016. № 4 (38). P. 382–387.
19. Izotov V. S., Muhametrahimov R. Kh., Galautdinov A. R. Complex additive for improving the efficiency of gypsum cement-pozzolan binder // Stroitel'nye materialy. 2016. № 8. P. 70–73.
20. Complex additive: patent 2519313 of the Rus. Federation. № 2013103948/03 ; decl. 29.01.13 ; publ. 10.06.14. Bull. in № 16. 5 p.