Влияние пластификаторов на свойства гипсовых вяжущих, активированных в аппаратах вихревого слоя

Р.А. Ибрагимов¹, Е.В. Королев², Т.Р. Дебердеев³

¹Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КГАСУ),
420043, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1;

²Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет
(НИУ МГСУ), 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26;

³Казанский национальный исследовательский технологический университет (КНИТУ),
420015, г. Казань, ул. Карла Маркса, д. 68

АННОТАЦИЯ

Введение. Представлены результаты исследования по установлению влияния способа введения, вида и концентрации пластифицирующих добавок на параметры структуры и свойства гипсового камня, полученного с применением строительного гипса, обработанного в аппаратах вихревого слоя.

Материалы и методы. Применяли строительный гипс марки Г-5 БИ. Физико-механические свойства гипсового камня определяли по стандартным методикам, удельную поверхность устанавливали методом воздухопроницаемости, рентгенограммы снимались на дифрактометре D2 Phaser.

Результаты. Получены данные 11 составов гипсового вяжущего, обработанного в аппарате вихревого слоя и произведено сравнение с контрольным составом на удельную поверхность вяжущего, минералогический состав и физико-механические характеристики гипсового камня.

Выводы. Выявлено, что обработка гипсового вяжущего в аппарате вихревого слоя приводит к повышению удельной поверхности до двух раз. Модификация гипса суперпластификатором MF значительно повышает предел прочности на сжатие (на 323 %) и на изгиб (на 218 %) гипсового камня, по сравнению с исходным составом. При этом совместная активация гипса с суперпластификаторами приводит к резкому снижению прочности и значительному замедлению гидратации. Наибольший прирост прочности гипсового камня наблюдается при модификации активированного гипса. Так, в зависимости от вида суперпластификатора, прочность на сжатие увеличивается на 100–302 %, на изгиб — на 86–218 %. Также существенно снижается общая пористость гипсового камня (до 23 %) и коэффициент размягчения (до 51 %).

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: аппарат вихревого слоя, активация, гипс, суперпластификаторы, прочность

Благодарности. Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ молодым ученым (№ 14Z56.18/1643-МК).

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Ибрагимов Р.А., Королев Е.В., Дебердеев Т.Р. Влияние пластификаторов на свойства гипсовых вяжущих, активированных в аппаратах вихревого слоя // Вестник МГСУ. 2019. Т. 14. Вып. 3. С. 293–300. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.3.293-300

The influence of plasticizers on the properties of gypsum binders activated in vortex layer apparatus

Ruslan A. Ibragimov¹, Evgeny V. Korolev², Timur R. Deberdeev³

¹Kazan State University of Architecture and Engineering (KSUAE),
1 Zelenaya st., Kazan, 420043, Russian Federation;

²Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU),
26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation;

³Kazan National Research Technological University (KNRTU),
68 Karl Marx st., Kazan, 420015, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. The article presents the results of a study to determine the influence of introduction method, type and concentration of plasticizing additives on the structure parameters and properties of gypsum stone obtained using gypsum cement treated in a vortex layer apparatus.

Materials and methods. The G-5 BII gypsum cement was used for the investigation. The physicochemical properties of the gypsum stone were determined in accordance with standard procedures, specific surface area was determined by air permeability, X-ray patterns were taken by means of the D2 Phaser diffractometer.

Results. The data were obtained from 11 compositions of gypsum binder processed in the vortex layer apparatus and compared with a reference composition in the sense of the specific surface of the binder, mineralogical composition and physicochemical characteristics of the gypsum stone.

Conclusions. As a result of the investigation, it was revealed that the processing of the gypsum binder in the vortex layer apparatus leads to an increase in the specific surface up to 2 times. Modification of gypsum with MF superplasticizer significantly increases the ultimate compression strength (by 323 %) and bending strength (by 218 %) of the gypsum stone, as compared with the initial composition. Meanwhile the combined activation of gypsum with superplasticizers leads to a sharp decrease in strength and a significant slowdown in hydration. The greatest increase in the strength of the gypsum stone is observed when modifying activated gypsum. So, depending on the type of superplasticizer, the compression strength increases by 100 to 302 %, and bending strength by 86 to 218 %. Also this significantly reduces the gypsum stone overall porosity (down to 23 %) and softening coefficient (down to 51%).

KEYWORDS: vortex layer apparatus, activation, gypsum, superplasticizers, strength

Acknowledgment. This work was performed with the assistance of the President of Russian Federation who awarded a research grant for young scientists (No. 14Z56.18 / 1643-MK).

FOR CITATION: Ibragimov R.A., Korolev E.V., Deberdeev T.R. The influence of plasticizers on the properties of gypsum binders activated in vortex layer apparatus. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2019; 14:3:293-300. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.3.293-300 (rus.).

ВВЕДЕНИЕ

Наиболее распространенным и эффективным является способ управления структурообразованием и эксплуатационными свойствами вяжущих веществ и композитов на их основе посредством введения соединений (добавок), обладающих химической и(или) физико-химической активностью [1–5]. Часто введение добавок, регулирующих плотность структуры искусственного камня, оказывает более существенное влияние по сравнению с добавками, изменяющими химический состав продуктов гидратации и твердения. Это в полной мере описывается уравнением, полученным одним из авторов данной работы [6], которое является модернизированным уравнением А.П. Ребиндера [7]:

$$R_c = \xi E_s^t, \quad (1)$$

где ξ , t — константы.

Как показано в статье [8] для полидисперсных систем, имеющих фрактальную размерность Хаусдорфа $D = 2,8 \pm 0,02$, показатель степени $t = 20 \pm 2$. Константа ξ СП С-3 (С-3) — продукт конденсации

нафталинсульфоокислоты и формальдегида, представляет собой водорастворимый порошок, выпускается компанией «ПОЛИПЛАСТ»;

СП Remicrete-SP10 (SP10) — химическая добавка на основе полиэфиркарбоксилата, представляет жидкость плотностью 1,1 г/см³, выпускается компанией «SCHOMBURG»;

СП Melflux 2651 F (MF) — химическая добавка на основе полиэфиркарбоксилата (полимерная цепь образована α , β -ненасыщенными карбоновыми кислотами), порошок насыпной плотностью 0,4–0,6 г/см³, выпускается концерном «BASF».

Водостойкость гипсового камня оценивали по коэффициенту размягчения (CS), который определяли как отношение прочности образцов, насыщенных водой, к прочности образцов в сухом состоянии.

Полный объем пор определяли по методике ГОСТ 12730.4-78.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследуемые составы гипсового вяжущего приведены в табл. 1. Оценку влияния указанных

Табл. 1. Исследуемые составы гипсового вяжущего

Table 1. Investigated compositions of gypsum binder

Характеристики / Characteristics	Нумерация составов / Composition numbering										
	1	2	3	4	5	6*	7*	8	9	10*	11
Водотвердое отношение / Water-solid ratio	0,65 100 %	0,65 100 %	0,65 100 %	0,5 77 %	0,29 45 %	0,48 74 %	0,265 41 %	0,48 74 %	0,265 41 %	0,38 58 %	0,38 58 %
Время активации, мин / Activation time, min.	—	3	5	—	—	3	3	3	3	3	3
Вид СП / SP type	—	—	—	С-3	MF	С-3	MF	С-3	MF	SP 10	SP 10

Примечание: * — составы, полученные совместной активацией гипса и СП.

Note: * — compositions obtained by means of combined activation of gypsum with SP.

способов, а также видов пластификаторов производили посредством сопоставления характеристик гипсового вяжущего (табл. 2), параметров структуры и свойств гипсового камня (табл. 3–5). Составы гипсового вяжущего приведены в табл. 1.

Данные табл. 2 демонстрируют, что обработка в АВС приводит к измельчению гипсового вяжущего: удельная поверхность гипсового вяжущего увеличилась в 1,99 раза (указанный результат также был получен в работе [18]). Удельная поверхность смеси, состоящей из гипсового вяжущего и пластификатора, зависит от вида пластификатора. Общим итогом является увеличение удельных поверхностей смесей, содержащих гипсовое вяжущее и пластификатор, в 1,7...2 раза. Диапазоны варьирования удельных поверхностей смесей практически не пересекаются, что позволяет рассматривать полученные результаты как проявление некоторой закономерности. По сравнению с удельной поверхностью обработанного в АВС гипсового вяжущего наблюдается снижение величины удельной поверхности на 6...15 % (для С-3 и SP10) или то же значение удельной поверхности (для MF). Полученный результат отличается от аналогичного для портланд-

цемента, в котором установлено увеличение удельной поверхности смеси портландцемента и пластификатора [12].

Как было показано в статье [15], обработка строительного гипса в АВС приводит к повышению его физико-химической активности. Это было продемонстрировано данными по кинетике тепловыделения при гидратации строительного гипса. Такое изменение объяснено изменением минералогического состава гипсового вяжущего [15]. Так, определено, что в процессе обработки в АВС β -полугидрат гипса преобразуется в ангидрит. При этом уменьшение содержания β - $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ составляет 1,5 раза, увеличение содержания CaSO_4 — 3,3 раза [15]. Активация в АВС смеси гипсового вяжущего и пластификатора также влияет на минералогический состав гипсового камня (табл. 3).

Из данных табл. 3 следует, что существенное содержание непрореагировавшего β -полугидрата гипса характерно для составов № 3, 6 и 10. В работе [15] было предположено, что увеличение содержания в гипсовом камне β - $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$, полученного из гипсового вяжущего, подвергнутого активации в течение 5 мин, связано с преобразо-

Табл. 2. Средний размер частиц и удельная поверхность строительного гипса

Table 2. Average particle size and specific gypsum surface

№ п/п / Item No.	Продолжительность обработки, мин / Treatment time, min.	Вид СП / SP type	Удельная поверхность, м ² /кг / Specific surface, m ² /kg	Средний размер частиц, мкм / Average particle size, μm
1	—	—	260,0±11,75	7,27±0,22
2	3	—	518,0±23,35	3,61±0,09
3	3	С-3	486,0±22,15	3,96±0,09
4	3	MF	530,0±23,85	3,52±0,09
5	3	SP10	442,0±21,65	4,21±0,10

Табл. 3. Количественный состав минеральных фаз гипсового камня

Table 3. Quantitative composition of gypsum stone mineral phases

Наименование фазы / Phase description	Содержание фазы, масс. % / Phase content, weight %										
	№ 1 / No. 1	№ 2 / No. 2	№ 3 / No. 3	№ 4 / No. 4	№ 5 / No. 5	№ 6 / No. 6	№ 7 / No. 7	№ 8 / No. 8	№ 9 / No. 9	№ 10 / No. 10	№ 11 / No. 11
β -полугидрат гипса / gypsum β -hemihydrate	0,7	1,5	8,0	0,2	2,0	8,5	0,2	2,1	2,5	9,1	4,8
Ангидрит / Anhydrite	1,4	0,9	2,9	2,9	1,2	2,7	2,0	15,6	1,3	3,9	2,8
Доломит / Dolomite	4,2	4,1	4,1	4,0	3,9	4,7	4,0	4,4	3,9	4,2	4,1
Кальцит / Calcite	0,5	0,3	0,3	0,3	0,5	1,4	0,3	0,4	0,7	0,8	0,8
Слюда / Mica	0,8	0,6	0,6	0,5	0,4	0,3	0,5	0,3	0,4	0,3	0,4
Кварц / Silica	0,9	1,2	1,2	1,3	2,3	1,5	1,2	1,5	1,5	1,1	1,0
Микроклин / Microcline	0,4	0,6	0,6	0,5	1,0	0,8	0,8	0,9	0,4	0,9	0,9
Плагиоклаз / Plagioclase	0,5	0,7	0,7	0,7	0,8	0,4	0,9	0,9	0,8	0,3	0,4
Гипс / Gypsum	90,5	89,9	81,4	89,3	87,8	79,7	89,8	73,8	88,2	79,3	84,6
Железо / Iron	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,1	0,2	0,1	0,1

ванием на поверхности частиц β -CaSO₄ · 0,5H₂O в CaSO₄ и дополнительно — повышенной агрегативностью частиц гипсового вяжущего. Для составов № 6 и 10, содержащих пластификаторы, активация в ABC не может полностью объяснить причину повышенного количества в искусственном камне β -полугидрата гипса. Дополнительной причиной, вероятно, является преобразование молекул пластификатора в физических условиях обработки в ABC.

Необходимо отметить, что не выявлено негативного влияния обработки в ABC на водоредуцирующее действие пластификаторов (табл. 4).

Данные табл. 4 демонстрируют, что наибольшее водоредуцирующее действие достигается при дозировках добавки СП С-3 и MF 1 %, а СП SP 10 — 1,5 % от массы вяжущего. При этом пластифицирующая способность СП при активации в ABC повышается в ряду от СП С-3 к SP 10 и MF. Поликарбоксилатные СП (SP 10 и MF) оказывают большее влияние на водоредуцирующий эффект (до 10 %), по сравнению с СП на основе нафталинформальдегида (С-3). Для дальнейших исследований приняты наиболее эффективные дозировки исследуемых СП.

Повышенное содержание β -полугидрата гипса закономерно влияет на параметры структуры и физико-механические свойства гипсового камня (табл. 5).

Активация строительного гипса в ABC при оптимальных параметрах приводит к повышению прочности полученного гипсового камня на сжа-

тие на 44 %, на изгиб — на 50 % по сравнению с исходным составом. Введение СП С-3 на нафталинформальдегидной основе в необработанный гипс дает такой же эффект, как и активация гипса в ABC. Введение СП MF значительно повышает предел прочности на сжатие (на 323 %) и на изгиб (на 218 %) гипсового камня, по сравнению с исходным составом.

Совместная активация гипса с СП в ABC приводит к резкому снижению прочности (в случае с СП С-3 и SP 10) и значительному замедлению гидратации (при введении СП MF).

Введение СП вместе с водой затворения в активированный гипс дает наибольший эффект и приводит к существенному повышению прочности и плотности гипсового камня. Так, в зависимости от вида СП, прочность на сжатие увеличивается на 100–302 %, а на изгиб — на 86–218 %. Плотность гипсового камня повышается на 8–23 %, а общая пористость снижается до 23 %. При этом наибольшее увеличение прочности наблюдается в составе с добавкой MF на основе эфира поликарбоксилата. Принцип действия добавок данного типа основывается на рассеивании статических зарядов и пространственной стабилизации частиц вяжущего вещества, что приводит к высокоэффективному диспергированию и дефлокуляции [19]. Адсорбируясь на гидратирующихся зернах вяжущего, СП удлиняет сроки схватывания и уменьшает водопотребность, что и приводит к росту прочностных показателей.

Табл. 4. Водоредуцирующее действие добавок СП при различных дозировках и методах введения

Table 4. Water-reducing effect of superplasticizer additives for various dosages and introduction methods

Вид СП / SP type	Дозировка СП / SP dosage	В/В и Вд при различных методах введения добавок / W/B and We for various additive introduction methods				Увеличение Вд, % / We increase, %
		с водой затворения / with mixing water		при совместном помоле в АВС / at combined grinding in vortex layer apparatus		
		В/В / W/B	Вд / We	В/В / W/B	Вд / We	
—	—	0,65	—	0,65	—	—
C-3	0,6	0,61	1,06	0,60	1,08	2
	0,8	0,55	1,18	0,53	1,22	4
	1,0	0,50	1,30	0,48	1,35	4
	1,2	0,50	1,30	0,48	1,35	4
SP 10	0,9	0,57	1,14	0,56	1,16	2
	1,2	0,48	1,35	0,46	1,41	5
	1,5	0,40	1,62	0,38	1,71	5
	1,8	0,40	1,62	0,38	1,71	5
MF	0,6	0,44	1,47	0,43	1,51	3
	0,8	0,36	1,80	0,34	1,91	6
	1,0	0,29	2,24	0,265	2,45	10
	1,2	0,29	2,24	0,265	2,45	10

Примечание: В/В — водовязующее отношение; Вд — водоредуцирующее действие: $We = (W/B)_{\text{непл}} / (W/B)_{\text{пласт}}$.

Note: W/B — water-binder ratio; We — water-reducing effect: $We = (W/B)_{\text{nonpl}} / (W/B)_{\text{plast}}$.

Табл. 5. Физико-механические характеристики гипсового камня, обработанного в АВС

Tab. 5. Physicomechanical characteristics of gypsum stone treated in the vortex layer apparatus

Номер состава / Composition No.	Прочность при изгибе, МПа в возрасте 1 сут / Bending strength, MPa, at the age of 24 hours	Прочность при сжатии, МПа в возрасте 1 сут / Compression strength, MPa, at the age of 24 hours	Содержание гидратной воды W, % / Hydration water content, %	Коэффициент размягчения C_s / Softening coefficient C_s	Полный объем пор, % / Total void content, %
1	2,8 100 %	5,2 100 %	38	0,37	50,3
2	4,2 150 %	7,5 144 %	40	0,40	48,4
3	0,8 29 %	3,6 70 %	33	0,16	50,1
4	4,1 146 %	7,1 137 %	30	0,40	47,2
5	6,1 218 %	16,8 323 %	22	0,48	42,3
6	2,7 96 %	4,0 77 %	29	0,28	51,5
7	—	—	26	—	—
8	5,2 186 %	10,4 200 %	24	0,44	44,6
9	8,9 318 %	20,9 402 %	20	0,56	38,7
10	2,2 78 %	3,4 65 %	22	0,26	48,9
11	5,8 207 %	13,2 254 %	22	0,46	43,8

Активация гипса в АВС и введение СП с водой затворения позволяет существенно повысить коэффициент C_s . Наибольшее повышение коэффициента C_s (на 51 %) наблюдается в составе с СП MF на поликарбоксилатной основе.

Существенное повышение физико-механических характеристик гипсовых изделий, активированных в АВС и модифицированных СП, связано с ускорением кристаллизации двухводного сульфата кальция и формированием плотного и прочного гипсового камня.

Наименьшим эффектом повышения физико-механических характеристик гипсового камня среди исследуемых СП обладает добавка С-3, а наибольшим — добавка MF.

ВЫВОДЫ

В результате проведенных исследований выявлено, что обработка гипсового вяжущего в АВС приводит к повышению удельной поверхности до двух раз. По сравнению с удельной поверхностью обработанного в АВС гипсового вяжущего наблюдается снижение величины удельной поверхности на 6...15 % (для С-3 и SP10) или то же значение удельной поверхности (для MF).

Модификация гипса СП MF значительно повышает предел прочности на сжатие (на 323 %) и на изгиб (на 218 %) гипсового камня, по сравнению с исходным составом. При этом совместная активация гипса с СП в АВС приводит к резкому снижению прочности и значительному замедлению гидратации. Наибольший прирост прочности гипсового камня отмечается при модификации активированного гипса. Так, в зависимости от вида СП, прочность на сжатие увеличивается на 100–302 %, а на изгиб — на 86–218 %. При этом существенно снижается общая пористость гипсового камня (до 23 %) и коэффициент размягчения (до 51 %).

Значительных отличий в количественном составе минеральных фаз гипсового камня в рассматриваемых композициях не выявлено. Однако существенное содержание непрореагировавшего β -полугидрата гипса характерно для составов № 3, 6 и 10. Для составов № 6 и 10, содержащих пластификаторы, активация в АВС не может полностью объяснить причину повышенного количества в искусственном камне β -полугидрата гипса. Дополнительной причиной, вероятно, является преобразование молекул пластификатора в физических условиях обработки в АВС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Федорова В.В., Сычева Л.И. Влияние пластифицирующих добавок на свойства гипсовых вяжущих // Успехи в химии и химической технологии. 2015. Т. 29. № 7. С. 78–80.
2. Поторочина С.А., Новикова В.А., Гордина А.Ф. The influence of polycarboxylate plasticizer to technical parameters of gypsum // Вестник науки и образования Северо-Запада России. 2015. Т. 1. № 3. С. 1–6.
3. Baohong G., Qingqing Y., Jiali Z., Wenbin Lou, Zhongbiao Wu. Interaction between α -calcium sulfate hemihydrate and superplasticizer from the point of adsorption characteristics, hydration and hardening process // Cement and Concrete Research. 2010. Vol. 40. Issue 2. Pp. 253–259. DOI: 10.1016/j.cemconres.2009.08.027
4. Jiahui P., Jindong Q., Jianxin Z., Mingfeng C., Tizhi W. Adsorption characteristics of water-reducing agents on gypsum surface and its effect on the rheology of gypsum plaster // Cement and Concrete Research. 2005. Vol. 35. Issue 3. Pp. 527–531. DOI: 10.1016/j.cemconres.2004.04.016
5. Гаин О.А. Повышение водостойкости гипсовых материалов // Перспективные материалы в строительстве и технике. 2014. С. 36–43.
6. Гусев В.Б., Королев Е.В., Гришина А.Н. Модели полидисперсных систем: критерии оценки и анализ показателей эффективности // Промышленное и гражданское строительство. 2018. № 8. С. 32–39.
7. Ребиндер П.А. Физико-химическая механика дискретных структур. М. : Наука, 1966. 400 с.
8. Хархардин А.Н., Ходыкин Е.И. Фрактальная размерность дисперсных и пористых материалов // Строительные материалы. 2007. № 8. С. 62–63.
9. Каклюгин А.В., Козлов А.В., Мирская М.В. Получение безобжигового ангидритового вяжущего в аппаратах вихревого слоя // Известия вузов. Строительство. 2007. № 8. С. 39–43.
10. Ибрагимов Р.А., Королев Е.В., Дебердеев Т.Р., Лексин В.В. Прочность тяжелого бетона на портландцементе, обработанном в аппарате вихревого слоя // Строительные материалы. 2017. № 10. С. 28–31.
11. Ibragimov R.A., Pimenov S.I., Izotov V.S. Effect of mechanochemical activation of binder on properties of fine-grained concrete // Magazine of Civil Engineering. 2015. Vol. 54. Issue 2. Pp. 63–69. DOI: 10.5862/mce.54.7
12. Ibragimov R.A., Korolev E.V., Deberdeev T.R., Leksin V.V. Structural parameters and properties of fine-grained concrete on Portland cement, activated with plasticizers in vortex layer apparatuses // ZKG International. 2018. No. 5. Pp. 28–35.
13. Логвиненко Д.Д., Шеляков О.П. Интенсификация технологических процессов в аппаратах с вихревым слоем. Киев : Изд-во «Техника», 1976. 144 с.
14. Mischenko M.V., Bokov M.M., Grishaev M.E. Activation of technological processes of materials in the device rotary electromagnetic field // Technical Sciences. 2015. No. 2. Pp. 3508–3512.
15. Ibragimov R.A., Korolev E.V., Deberdeev T.R., Leksin V.V. Properties of the building gypsum treated by the vortex layer apparatus // ZKG International. 2018. No. 12. Pp. 37–44.
16. Ибрагимов Р.А., Королев Е.В., Дебердеев Т.Р., Лексин В.В. Оптимальные параметры и картина магнитного поля рабочей камеры в аппаратах с вихревым слоем // Строительные материалы. 2018. № 7. С. 64–67. DOI: 10.31659/0585-430X-2018-761-7-64-67
17. Izotov V.S., Ibragimov R.A. Hydration products of portland cement modified with a complex admixture // Inorganic Materials. 2015. Vol. 51. Issue 8. Pp. 834–839. DOI: 10.1134/s0020168515080087
18. Kosenko N.F., Belyakov A.S., Smirnova M.A. Effect of mechanical activation procedure on the phase composition of gypsum // Inorganic Materials. 2010. Vol. 46. Issue 5. Pp. 545–550. DOI: 10.1134/s0020168510050195
19. Калашиников В.И., Мороз М.Н., Тараканов О.В., Калашиников Д.В., Суздальцев О.В. Новые представления о механизме действия суперпластификаторов, совместно размолотых с цементом или минеральными породами // Строительные материалы. 2014. № 9. С. 70–75.
20. Халиуллин М.И., Файзрахманов И.И. Влияние молотого известняка на свойства композиционного гипсового вяжущего с применением термоактивированной глины в качестве пуццоланового компонента // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2018. № 3 (45). С. 203–209.

Поступила в редакцию 15 октября 2018 г.

Принята в доработанном виде 15 января 2019 г.

Одобрена для публикации 25 февраля 2019 г.

ОБ АВТОРАХ: Ибрагимов Руслан Абдирашитович — кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой технологии строительных процессов, Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КГАСУ), 420043, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1, rusmag007@yandex.ru;

Королев Евгений Валерьевич — доктор технических наук, профессор, проректор, **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26, korolev@nocnt.ru;

Дебердеев Тимур Рустамович — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии переработки полимеров и композиционных материалов, **Казанский национальный исследовательский технологический университет (КНИТУ)**, 420015, г. Казань, ул. Карла Маркса, д. 68, deberdeev@mail.ru.

REFERENCES

1. Fedorova V.V., Sycheva L.I. Influence of the plasticizing additives on properties of plaster knitting. *Achievements in chemistry and chemical technology*. 2015; 29(7):78-80. (rus.).
2. Potorochina S.A., Novikova V.A., Gordina A.F. The influence of polycarboxylate plasticizer to technical parameters of gypsum. *Messenger of science and education of the Northwest of Russia*. 2015; 1(3):1-6. (rus.).
3. Baohong G., Qingqing Y., Jiali Z., Wenbin Lou, Zhongbiao Wu. Interaction between α -calcium sulfate hemihydrate and superplasticizer from the point of adsorption characteristics, hydration and hardening process. *Cement and Concrete Research*. 2010; 40(2):253-259. DOI: 10.1016/j.cemconres.2009.08.027
4. Jiahui P., Jindong Q., Jianxin Z., Mingfeng C., Tizhi W. Adsorption characteristics of water-reducing agents on gypsum surface and its effect on the rheology of gypsum plaster. *Cement and Concrete Research*. 2005; 35(3):527-531. DOI: 10.1016/j.cemconres.2004.04.016
5. Gain O.A. Increase in water resistance of plaster materials. *Perspective materials in construction and the equipment*. 2014; 36-43. (rus.).
6. Gusev V.B., Korolev E.V., Grishina A.N. Models of polydisperse systems: evaluation criteria and analysis of indicators of efficiency. *Industrial and Civil Engineering*. 2018; 8:32-39. (rus.).
7. Rebinder P.A. *Physico-chemical mechanics of discrete structures*. Moscow, Nauka Publ., 1966; 400. (rus.).
8. Kharkhardin A.N., Khodykin E.I. Fractal dimension of disperse and porous materials. *Construction Materials*. 2007; 8:62-63. (rus.).
9. Kaklyugin A.V., Kozlov A.V., Mirskaya M.V. Getting unburned anhydrite binder in the apparatus of the vortex layer. *News of Higher Education Institutions Knitting in Devices. Construction*. 2007; 8:39-43 (rus.).
10. Ibragimov R.A., Korolev E.V., Deberdeev T.R., Leksin V.V. Durability of heavy-weight concrete with portland cement treated in apparatus of vortex layer. *Construction Materials*. 2017; 10:28-31. (rus.).
11. Ibragimov R.A., Pimenov S.I., Izotov V.S. Effect of mechanochemical activation of binder on properties of fine-grained concrete. *Magazine of Civil Engineering*. 2015; 54(2): 63-69. DOI: 10.5862/mce.54.7
12. Ibragimov R.A., Korolev E.V., Deberdeev T.R., Leksin V.V. Structural parameters and properties of fine-grained concrete on Portland cement, activated with plasticizers in vortex layer apparatuses. *ZKG International*. 2018; 5:28-35.
13. Logvinenko D.D., Shelyakov O.P. *Intensification of technological processes in devices with a vortex layer*. Kiev, Technique Publ., 1976; 144. (rus.).
14. Mischenko M.V., Bokov M.M., Grishaev M.E. Activation of technological processes of materials in the device rotary electromagnetic field. *Technical Sciences*. 2015; 2:3508-3512.
15. Ibragimov R.A., Korolev E.V., Deberdeev T.R., Leksin V.V. Properties of the building gypsum treated by the vortex layer apparatus. *ZKG International*. 2018; 12:37-44.
16. Ibragimov R.A., Korolev E.V., Deberdeev T.R., Leksin V.V. Optimum parameters and picture of magnetic field of the working camera in devices with a vortex layer. *Construction Materials*. 2018; 7:64-67. DOI: 10.31659/0585-430X-2018-761-7-64-67 (rus.).
17. Izotov V.S., Ibragimov R.A. Hydration products of portland cement modified with a complex admixture. *Inorganic Materials*. 2015; 51(8):834-839. DOI: 10.1134/s0020168515080087
18. Kosenko N.F., Belyakov A.S., Smirnova M.A. Effect of mechanical activation procedure on the phase composition of gypsum. *Inorganic Materials*. 2010; 46(5):545-550. DOI: 10.1134/s0020168510050195
19. Kalashnikov V.I., Moroz M.N., Tarakanov O.V., Kalashnikov D.V., Suzdal'tsev O.V. New ideas of the mechanism of effect of the supersofteners which are in common ground with cement or mineral breeds. *Construction Materials*. 2014; 9:70-75. (rus.).
20. Khaliullin M.I., Faizrakhmanov I.I. The influence of ground limestone on the properties of a composite gypsum binder with the use of thermally activated clay as a pozzolanic component. *News of the Kazan State University of Architecture and Civil Engineering*. 2018; 3(45):203-209. (rus.).

Received October 15, 2018.

Adopted in a modified form January 15, 2019.

Approved for publication February 25, 2019.

ABOUT THE AUTHORS: **Ruslan A. Ibragimov** — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Technology of building processes, **Kazan State University of Architecture and Engineering (KSUAE)**, 1 Zelenaya st., Kazan, 420043, Russian Federation, rusmag007@yandex.ru;

Evgeny V. Korolev — Doctor of Technical Sciences, Professor, Vice rector, **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**, 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation, korolev@nocnt.ru;

Timur R. Deberdeev — Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Technologies for processing polymers and composite materials, **Kazan National Research Technological University (KNRTU)**, 68 Karl Marx st., Kazan, 420015, Russian Federation, Deberdeev@mail.ru.