СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ. ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ. НАНОМАТЕРИАЛЫ И НАНОТЕХНОЛОГИИ

УДК 693.6

DOI: 10.22227/2305-5502.2019.4.6

Оценка тиксотропии штукатурных составов

А.И. Панченко, В.Н. Соловьев, Н.А. Третьяков, А.Д. Чернов, И.Р. Шайхалов

*Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет
(НИУ МГСУ); г. Москва, Россия*

АННОТАЦИЯ

Введение. Требования к минеральным штукатурным составам подразделяют на две группы: технологические и эксплуатационные. К технологическим свойствам относят пластичность и удобство при нанесении, что определяет требования к реологическим характеристикам и в первую очередь к тиксотропии смесей. В России имеются значительные запасы глиногипсового вяжущего, но в настоящее время оно не используется индустриально. Причин несколько, основная — отсутствие научно обоснованной теории твердения данного сырья и формирования его свойств без добавок и с модифицирующими добавками. Цель исследования — разработка составов и технологии нанесения штукатурных интерьерных смесей на основе стабилизированного вяжущего.

Материалы и методы. Используются методы, с помощью которых в лабораторных условиях можно оценить тиксотропные свойства штукатурных растворных смесей на глиногипсе.

Результаты. По предельному напряжению сдвига и по фактическому сползанию с вертикальной стенки установлены допустимые верхний и нижний интервалы водоцементного отношения — от 0,46 до 0,50. Изложена методология изучения реологических свойств сухих штукатурных смесей на основе глиногипса для интерьерных работ, в том числе во влажных помещениях.

Выводы. Разработана методика и опробована для штукатурных составов на основе глиногипсового вяжущего, которое относится к категории местных вяжущих. Исследования подтверждают возможность использования глиногипсового вяжущего в составе сухих штукатурных смесей для внутренних декоративных работ в помещениях и, в частности, позволяют оценить фактическую адгезию штукатурных покрытий к бетонным основаниям и к кирпичной кладке. Изучение реологии глиногипсовых смесей проводится впервые, что предопределяет научную новизну. Рекомендации по применению глиногипсовых штукатурных смесей имеют практическую значимость.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: минеральное вяжущее, гидратация, добавки, штукатурные смеси, реология, тиксотропия

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Панченко А.И., Соловьев В.Н., Третьяков Н.А., Чернов А.Д., Шайхалов И.Р. Оценка тиксотропии штукатурных составов // Строительство: наука и образование. 2019. Т. 9. Вып. 4. Ст. 6. URL: <http://nso-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2019.4.6

Evaluation of thixotropy of clay-gypsum based plaster

Alexander I. Panchenko, Vitaliy N. Solov'ev, Nikita A. Tretyakov,
Alexander D. Chernov, Ilmir R. Shaykhalov

*Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU);
Moscow, Russian Federation*

ABSTRACT

Introduction. Requirements for mineral based plasters are divided into two groups: technological and performance properties. Plasticity and ease of application are attributed to the technological properties. This determines the requirements for rheological characteristics and, first of all, for the thixotropy of mixtures. The technique is developed and tested on plaster compositions based on clay-gypsum binder which belongs to the category of local binders. Russia has significant reserves of this raw material, but at present it is not used industrially. The main reason is the lack of a scientifically based theory of hardening of the clay-gypsum binder and the formation of its properties without and with modifying additives. The purpose of this research is to develop the composition and technology of application of interior plaster compositions based on stabilized binder.

The methodology of studying the rheological properties of dry plaster mixtures based on clay gypsum for interior work and wet rooms is presented. The study of the rheology of clay gypsum mixtures is carried out for the first time, it determines scientific novelty. Recommendations for the use of clay gypsum plaster mixtures determine the practical significance of the research.

Materials and methods. Methods of evaluation of thixotropic properties of plaster mixtures based on clay-gypsum binder in laboratory environment are realized.

Results. The valid intervals of the water-cement ratio are established which ranged from 0.46 to 0.50, determined by the limiting shear stress and the actual sliding from the vertical wall.

Conclusions. The possibility of using a clay-gypsum binder in dry plaster mixtures for interior decorative works in the premises, in particular, confirmed by research. It allows us to assess the actual adhesion of plaster coatings to the concrete based surfaces and to brickwork.

KEYWORDS: mineral binder, hydration, additives, plaster mixtures, rheology, thixotropy

FOR CITATION: Panchenko A.I., Solov'ev V.N., Tretyakov N.A., Chernov A.D., Shaykhalov I.R. Evaluation of thixotropy of clay-gypsum based plaster. *Stroitel'stvo: nauka i obrazovanie* [Construction: Science and Education]. 2019; 9(4):6. URL: <http://nso-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2019.4.6 (rus.).

ВВЕДЕНИЕ

Использование строительных материалов, характерных для определенной местности, является актуальным вопросом. Во-первых, применение таких материалов служит значимым вкладом в экономическое развитие региона, во-вторых, экономически эффективно за счет экономии минеральных ресурсов. Глиногипс — сырье, используемое во многих регионах РФ и странах СНГ. Экономическая и экологическая целесообразность применения глиногипсовых материалов дополняется простотой его добычи [1–4].

Глиногипс представляет собой природный строительный композит, относительно плотный конгломерат, состоящий из двугидрата сульфата кальция (гипса), глинистых минералов, кремнезема и других примесей. Имеющаяся информация о результатах изучения этого материала в 40–50-х гг. XX в. показала, что на основе глиногипса потенциально можно получить гипсовое вяжущее с различными свойствами. Однако промышленное использование глиногипса так и не было организовано, что объясняется недостаточной изученностью сырья и получаемых из него продуктов [5–8].

Применение глиногипсовых вяжущих не получило широкого распространения на практике. Это обосновывается недостаточной изученностью технологического процесса его получения и особенностями применения, связанными с составом: нестабильное содержание гипса и высокое содержание примесей в некоторых месторождениях [9–15].

Для создания эффективных глиногипсовых вяжущих необходимы научно обоснованные методы переработки сырья и получения модифицированного гипсового вяжущего для строительных растворов различного назначения и в первую очередь штукатурных составов.

Использование штукатурных составов на вертикальных поверхностях затрудняется стеканием (спол-

занием) смесей при различной толщине наносимого слоя. Соответственно при разработке состава целесообразным является предварительное определение отсутствия стекания, которое возможно как эмпирически, так и с применением расчетно-теоретического решения, основанного на установлении параметров условия равновесия фрагмента смеси [16–21].

В результате исследования приводится методика оценки дополнительных требований к характеристикам сухих строительных смесей на основе глиногипса и их нанесения, а также методология проверки этих требований в лабораторных условиях.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Величина предельного напряжения сдвига $\tau_{сд}$ определяется с помощью конического пластометра (конус Ребиндера) и/или эталонного конуса по ГОСТ 5802-2018 «Растворы строительные. Методы испытаний» (рис. 1). Расчет осуществляется по формуле:

$$\tau_{сд} = K_a \frac{F}{h_K^2}, \quad (1)$$

где $K_a = \frac{1}{\pi} \cos \frac{\alpha}{2} \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2}$ — константа конуса, зависящая от угла при вершине; при величине α равном 30, 45, 60° константа конуса равна соответственно 1,107, 0,568, 0,413; F — действующая на растворную смесь сила; h_K — глубина погружения конуса.

Экспериментальная оценка дополнительных требований к штукатурным составам на основе глиногипса в лабораторных условиях производится следующим образом. Для оценки стекания берется цилиндр, высота которого соответствует максимальной толщине наносимого слоя. Внутреннюю поверхность цилиндра смазывают машинным маслом. Цилиндр помещают на горизонтально установленную бетонную плиту и заполняют растворной смесью с подвижностью П_к3 (8–12 см). Цилиндр аккурат-

Рис. 1. Схема прибора для определения подвижности смеси: *a* — схема прибора; *b* — общий вид прибора; *c* — показания прибора; 1 — штатив; 2 — шкала; 3 — эталонный конус; 4 — штанга; 5 — держатели; 6 — направляющие; 7 — сосуд для растворной смеси; 8 — стопорный винт

но поднимают вверх и отводят в сторону. Бетонную плиту устанавливают вертикально (рис. 2). В течение 1 и 10 сек оценивают перемещение нижнего торца цилиндрической формы образца относительно начального положения. Считается, что стекание отсутствует, если внешний нижний торец цилиндра сместился не более чем на 50 % толщины слоя.

Одновременно оценивается предельное напряжение сдвига на эталонном конусе.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве образцов для испытаний использовались штукатурные составы на основе глиногипсового вяжущего. Перед измерением в обоих случаях

тиксотропная структура растворной смеси предельно разрушается. Результаты экспериментов представлены в табл. 1.

Для значений Δ^* , соответствующих условию отсутствия стекания в формуле (1), коэффициент k можно принять равным единице, тогда:

$$\tau_{\text{сд}} \geq \rho \delta.$$

С целью выбора оптимального состава штукатурных смесей проводились испытания по определению влияния различных параметров на тиксотропные свойства смесей (рис. 2, 3). Исследовалось влияние водотвердого отношения на реологическое поведение штукатурного состава на основе глиногипсового вяжущего.

Рис. 2. Оценка стекания штукатурной смеси с основания

Табл. 1. Результаты экспериментов по определению «стекания» штукатурных растворов смесей при толщине слоя $\delta = 20$ мм

Table 1. The results of experiments on determining the “runoff” of plaster mortar mixes with a layer thickness of $\delta = 20$ mm

Водотвердое отношение, В/Т	Плотность ρ , г/см ³	Пределные напряжения сдвига $\tau_{сд}$, г/см ²		Сдвиг нижнего торца Δ
		$\tau_{сд}$ 1, сек	$\tau_{сд}$ 10, сек	
0,46	1,51	4,7	4,9	0*
0,48	1,42	4,2	4,3	6*
0,50	1,40	3,9	4,1	9*
0,52	1,40	3,5	3,9	13

Примечание: Δ^* соответствуют условию отсутствия стекания.

Оптимальными штукатурными смесями на основе глиногипса можно считать такие, в которых при подвижности не менее $P_k 3$ предельные напряжения сдвига в первые секунды тиксотропного упрочнения обеспечивают отсутствие стекания для заданной толщины наносимого слоя за один проход. При $P_k 3$ сползание на бетонной поверхности составляет не более 10 %, а на кирпичной — не более 5 %. Это зависит от плотности, неровности, впитывающей способности, влажности, степени загрязнения и т.д.

Другие параметры отвердевшего раствора (адгезия, прочность при сжатии, прочность при растяжении и изгибе, трещиностойкость, морозостойкость, паропроницаемость и т.д.) должны удовлетворять нормативным требованиям.

С учетом фактора сползания бетонной смеси с вертикальной поверхности основания (вертикальной стенки) и реологических характеристик (предельные напряжения сдвига) установлены верхний и нижний интервалы водоцементного отношения. Эти результаты были использованы при разработке рекомендаций по применению сухих штукатурных смесей на основе глиногипса в интерьерной отделке помещений, в том числе и с повышенной влажностью.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Адаптация классических способов и нормативных методов оценки реологических характеристик минеральных вяжущих позволила разработать методику оценки технологических характеристик штукатурных минеральных смесей и, в первую очередь тиксотропных свойств таких смесей. В качестве объекта для реализации разработанной методики были приняты штукатурные смеси для интерьерных работ на основе глиногипсового вяжущего.

Исследованиями установлено, что водотвердое отношение в значительной степени влияет на тиксотропные свойства штукатурных растворов смесей на основе глиногипсового вяжущего. Соответственно, управление тиксотропными свойствами раствора осуществляют изменением водотвердого отношения в пределах допустимых нормативами значений, а именно в интервале водотвердого отношения 0,46–0,50.

Работы по применению штукатурных смесей в интерьерной отделке зданий проводились в соответствии с хозяйственным договором между НИУ МГСУ и ООО «ТЕПОФОЛ» х/д Р.559-17 от 15.09.2017 г. «Исследование физико-механических характеристик вспененного полиэтилена «Теполол» в системах наружной и интерьерной изоляции».

Рис. 3. Влияние водотвердого отношения (В/Т) на тиксотропные свойства: 1 — В/Т = 0,52; 2 — В/Т = 0,48; 3 — В/Т = 0,46

ЛИТЕРАТУРА

1. Жук П.М., Жуков А.Д. Нормативная правовая база экологической оценки строительных материалов: перспективы совершенствования // Экология и промышленность России. 2018. Т. 22. № 4. С. 52–57. DOI: 10.18412/1816-0395-2018-4-52-57
2. Румянцев Б.М. Технология декоративно-акустических материалов. М. : МГСУ, 2010. 184 с.
3. Коровяков В.Ф. Перспективы применения водостойких гипсовых вяжущих в современном строительстве // Повышение эффективности производства и применения гипсовых материалов и изделий : мат. Всероссийского семинара, Москва, 2002. М. : РААСН, 2002. С. 51–56.
4. Румянцев Б.М., Жуков А.Д. Принципы создания новых строительных материалов // Интернет-Вестник ВолгГАСУ. 2012. № 3 (23). С. 19. URL: [http://vestnik.vgasu.ru/attachments/RumyantsevZhukov-2012_3\(23\).pdf](http://vestnik.vgasu.ru/attachments/RumyantsevZhukov-2012_3(23).pdf)
5. Бессонов И.В. Гипсовые материалы нового поколения для отделки фасадов зданий // Повышение эффективности производства и применения гипсовых материалов и изделий : мат. Всероссийс. семинара, Москва, 2002. М. : РААСН, 2002. С. 82–87.
6. Жуков А.Д., Коровяков В.Ф., Асаматдинов М.О., Чукин А.С. Модифицированные вяжущие на основе гипсового мергеля // Научное обозрение. 2016. № 7. С. 86–90.
7. Теличенко В.И., Орешкин Д.В. Материаловедческие аспекты геоэкологической и экологической безопасности в строительстве // Экология урбанизированных территорий. 2015. № 2. С. 31–33.
8. Delinière R., Aubert J.E., Rojat F., Gasc-Barbier M. Physical, mineralogical and mechanical characterization of ready-mixed clay plaster // Building and Environment. 2014. Vol. 80. Pp. 11–17. DOI: 10.1016/j.buildenv.2014.05.012
9. Pawlak M. The influence of composition of gypsum plaster on its technological properties // Archives of Foundry Engineering. 2010. Vol. 10. Issue. 4. Pp. 55–60. URL: <ftp://www.afe.polsl.pl/pdf/AFE-10.s4-pdf/11-s.04-10.pdf>
10. Caetano D.E., Alves J.L., Neto R.L., Duarte T.P. Development of plaster mixtures formulations for additive manufacturing // Advanced Structured Materials. 2017. Vol. 65. Pp. 257–277. DOI: 10.1007/978-3-319-50784-2_20 URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-50784-2_20
11. Asamatdinov M., Medvedev A., Zhukov A., Zarmanyan E., Poserenin A. Modeling of the composition of ecologically safe clay-gypsum binders // MATEC Web of Conferences. 2018. Vol. 193. P. 03045. DOI: 10.1051/mateconf/201819303045
12. Chumachenko N.G., Dergunov S.A., Orekhov S.A. Energy efficient compositions of dry concrete mixes based on gypsum-bearing systems // Procedia Engineering. 2016. Vol. 150. Pp. 1591–1599. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.07.131 URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/82456979.pdf>
13. Lushnikova N., Dvorkin L. Sustainability of gypsum products as a construction material. Sustainability of Construction Materials (Second Edition). 2016. Pp. 643–681. DOI: 10.1016/B978-0-08-100370-1.00025-1
14. Kondratieva N., Barre M., Goutenoire F., Sanytsky M. Study of modified gypsum binder // Construction and Building Materials. 2017. Vol. 149. Pp. 535–542. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2017.05.140
15. Randazzo L., Montana G., Hein A., Castiglia A., Rodonò G., Donato D.I. Moisture absorption, thermal conductivity and noise mitigation of clay based plasters: The influence of mineralogical and textural characteristics // Applied Clay Science. 2016. Vol. 132–133. Pp. 498–507. DOI: 10.1016/j.clay.2016.07.021
16. Rumiantsev B.M., Zhukov A.D., Zelenshiykov D.B., Chkunin A.S., Ivanov K.K., Sazonova Yu.V. Insulation systems of the building constructions // MATEC Web of Conferences. 2016. Vol. 86. P. 04027. DOI: 10.1051/mateconf/20168604027
17. Жуков А.Д., Асаматдинов М.О., Чукин А.С., Иванов К.К., Румянцев Г.Б. Стеновые материалы на основе местного сырья // Инновации в жизнь. 2016. № 4 (19). С. 35–43.
18. Жуков А.Д., Коровяков В.Ф., Наумова Т.А., Асаматдинов М.О. Штукатурные смеси на основе глиногипса // Научное обозрение. 2015. № 10. С. 98–101.
19. Росс Х., Шталь Ф. Штукатурка. Практическое руководство: Материалы, техника производства работ, предотвращение дефектов / пер. с нем. Н.А. Хрусталева; под общ. ред. П.В. Зозуля. СПб. : Квинтет, 2006. 273 с.
20. Козлов В.В. Сухие строительные смеси. М. : Изд-во АСВ, 2000. 140 с.
21. Жуков А.Д., Коровяков В.Ф., Асаматдинов М.О. Кинетика тепловыделения глиногипсового вяжущего // Инновации в жизнь. 2017. № 1 (20). С. 104–113.
22. Bergaya F., Lagaly G. Introduction to clay science // Developments in Clay Science. 2013. Pp. 1–7. DOI: 10.1016/B978-0-08-098259-5.00001-9

Поступила в редакцию 30 июля 2019 г.

Принята в доработанном виде 15 сентября 2019 г.

Одобрена для публикации 26 ноября 2019 г.

ОБ АВТОРАХ: Александр Иванович Панченко — доктор технических наук, доцент, профессор кафедры технологии вяжущих веществ и бетонов; Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; PanchenkoAI@mgsu.ru;

Виталий Николаевич Соловьев — доктор технических наук, профессор, профессор кафедры строительства объектов тепловой и атомной энергетики; Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; ttgs@mgsu.ru;

Никита Андреевич Третьяков — студент; Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; isa@mgsu.ru;

Александр Дмитриевич Чернов — студент; Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; isa@mgsu.ru;

Ильмир Радикович Шайхалов — студент; Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26, isa@mgsu.ru.

INTRODUCTION

The use of building materials, which are characteristic for a specific region, is an important issue. First of all, the use of such materials is a significant contribution to the economic development of the region, and secondly, it is cost-effective due to saving mineral resources. Clay and gypsum mortar is a raw material used in many regions of the Russian Federation and CIS countries. The economic and ecological expediency of using clay and gypsum materials is supplemented by the ease of its extraction [1–4].

Clay and gypsum mortar is a natural building composite, a relatively dense conglomerate consisting of calcium sulfate (gypsum) dihydrate, clay minerals, silica and other impurities. Available information on the results of the study of this material in the 40–50s of XX century showed that on the basis of clay and gypsum mortar it is potentially possible to obtain a gypsum binder with different properties. However, the industrial use of clay and gypsum mortar has not been organized, which is explained by the lack of study of raw materials and products derived from it [5–8].

The use of clay and gypsum binders is not widespread in practice. This is due to insufficient study of its production process and application features related to the composition: unstable gypsum content and high content of impurities in some deposits [9–15].

In order to create effective clay and gypsum binders, it is necessary to have scientifically grounded methods of raw material processing and obtaining modified gypsum binder for mortars of different application and, first of all, plaster compositions.

The use of plaster compositions on vertical surfaces is complicated by the flow (run-off) of mixtures at different thicknesses of the applied layer. When developing the composition, it is expedient to determine the absence of flow, which is possible both empirically and using a computational and theoretical solution based on the determination of the parameters of the equilibrium condition of the mixture fragment, respectively [16–21].

Based on the study, the methodology for assessing additional requirements for the characteristics of dry mixes based on clay and gypsum mortar and their application, as well as the methodology for testing these requirements in the laboratory environment are provided.

MATERIALS AND METHODS

Shear stress limit value τ_{sh} is determined with the help of a conical plastometer (Rebinder cone) and/or reference cone in accordance with GOST 5802-2018 “Mortars. Test methods” (fig. 1). The following formula is used for calculation:

$$\tau_{sh} = K_a \frac{F}{h_k^2}, \quad (1)$$

where F is a force acting on mortar mix; h is a cone immersion depth;

$K_a = \frac{1}{\pi} \cos \frac{\alpha}{2} \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2}$ is a cone constant,

depending on the top angle; while α is 30, 45, 60°, the cone constant is equal to 1.107, 0.568, 0.413, respectively.

The experimental evaluation of additional requirements for plasters on the basis of clay and gypsum mortar in laboratory environment is performed as follows. A cylinder is used to estimate the flow, the height of which corresponds to the maximum thickness of the applied layer. The inside of the cylinder is lubricated with machine oil. The cylinder is placed on a horizontally installed concrete slab and filled with a mortar mixture with mobility $M_k 3$ (8–12 cm). The cylinder is gently lifted up and pulled aside. Install the concrete slab vertically (Fig. 2). Within 1 and 10 seconds, the movement of the lower end of the cylindrical shape of the specimen relative to the initial position is evaluated. It is considered that there is no run-off if the outer bottom end of the cylinder has shifted no more than 50 % of the thickness of the layer.

At the same time, the shear stress limit on the reference cone is evaluated.

Fig. 1. Diagram of the device for determining the mobility of the mixture: *a* — diagram of the device; *b* — general view of the device; *c* — instrument readings; 1 — tripod; 2 — scale; 3 — reference cone; 4 — bar; 5 — holders; 6 — guides; 7 — mortar vessel; 8 — lock screw

Fig. 2. Evaluation of the run-off of the plaster mix from the base

STUDY FINDINGS

Plasters based on clay and gypsum binder were used as test specimens. In both cases, the thixotropic structure of the mortar mixtures is extremely destroyed before the measurement. The experiments results are given in Table 1.

For the values of Δ^* , corresponding to the condition of no run-off in the formula (1), the coefficient k can be assumed to be equal to one, then:

$$\tau_{sh} \geq \rho \delta,$$

in order to select the optimal composition of plaster mixtures, tests were carried out to determine the influ-

ence of various parameters on the thixotropic properties of mixtures (Fig. 2, 3).

Influence of water-solid ratio on flow behavior of plaster composition on the basis of clay and gypsum binder was studied.

Optimal clay and gypsum plaster mixtures can be considered those in which, with mobility being at least Mk3, the shear stress limits in the first seconds of thixotropic hardening ensure that no run-off occurs for a given layer thickness in one pass. With mobility being Mk3, the sliding on the concrete surface is not more than 10 %, and on the brick surface — not more than 5 %. This depends on density, roughness, absorption capacity, humidity, degree of contamination, etc.

Table 1. The results of experiments on determining the “runoff” of plaster mortar mixtures with a layer thickness of $\delta = 20$ mm

Water-solid ratio, W/S	Density ρ , g/cm ³	Limit shear stress τ_{sh} , g/cm ²		Lower end shift Δ
		$\tau_{sh} 1, s$	$\tau_{sh} 10, s$	
0.46	1.51	4.7	4.9	0*
0.48	1.42	4.2	4.3	6*
0.50	1.40	3.9	4.1	9*
0.52	1.40	3.5	3.9	13

Note: Δ^* correspond to the condition of no run-off.

Fig. 3. The influence of the water-solid ratio (W/S) on the thixotropic properties: 1 — W/S = 0.52; 2 — W/S = 0.48; 3 — W/S = 0.46

Other parameters of the solidified mortar (adhesion, compression strength, tensile and bending strength, crack resistance, frost resistance, vapor permeability, etc.) must meet the regulatory requirements.

Taking into account the factor of concrete mixture run-off from the vertical surface of the base (vertical wall) and rheological characteristics (shear stress limits), the upper and lower intervals of water-cement ratio are established. These results have been used in the development of recommendations for the use of dry plaster mixtures based on clay and gypsum mortar in interior decoration of premises, including those with high humidity.

CONCLUSION AND DISCUSSION

Adaptation of classical methods and standard methods of assessment of rheological characteristics of mineral binders allowed to develop a method of assess-

ment of process characteristics of plaster mineral mixtures and, first of all, thixotropic properties of such mixtures. Plaster mixtures for interior works on the basis of clay and gypsum binder were accepted as an object for the implementation of the developed methods.

Studies have shown that the water-solid ratio significantly affects the thixotropic properties of plaster mortar mixtures based on clay and gypsum binder. Respectively, the thixotropic properties of the mortar are controlled by changing the water-solid ratio within the limits of permissible values, namely within the water-solid ratio range of 0.46–0.50.

Work on the use of plaster mixtures in the interior decoration of buildings was carried out in accordance with the economic agreement between NRU MGSU and TEPOFOL LLC e/a P.559-17 dd. 15/09/2017 “Research of physical and mechanical characteristics of Tepofol foamed polyethylene in the systems of external and interior insulation”.

REFERENCES

1. Zhuk P.M., Zhukov A.D. Normative legal base for the environmental assessment of building materials: prospects for improvement. *Ecology and Industry of Russia*. 2018; 22(4):52-57. DOI: 10.18412/1816-0395-2018-4-52-57 (rus.).
2. Rumyantsev B.M. *Technology of decorative acoustic materials. Tutorial*. Moscow, MGSU Publ., 2010; 184. (rus.).
3. Korovyakov V.F. Perspectives of using waterproof gypsum binders in the modern construction.

Increasing of the Production Efficiency and Use of the Gypsum Materials and Products : materials of the all-Russian Seminar, Moscow, 2002. Moscow, RAASN Publ., 2002; 51–56. (rus.).

4. Rumyantsev B.M., Zhukov A.D. Foundations of new building materials creation. *Internet-Bulletin Volg-GASU*. 2012; 3(23):19. URL: [http://vestnik.vgasu.ru/attachments/RumyantsevZhukov-2012_3\(23\).pdf](http://vestnik.vgasu.ru/attachments/RumyantsevZhukov-2012_3(23).pdf). (rus.).

5. Bessonov I.V. Plaster materials of a new generation for finishing facades of buildings. *Improving the efficiency of production and use of gypsum materials and products: all-Russia seminar papers, Moscow, 2002.* Moscow, RAACS Publ., 2002; 82–87. (rus.).

6. Zhukov A.D., Korovyakov V.F., Asamatdinov M.O., Chkunin A.S. Modified binders based on gypsum marl. *Scientific Review*. 2016; 7:86–90. (rus.).

7. Telichenko V.I., Oreshkin D.V. Material science aspects of geo-ecological and environmental safety in construction. *Ecology of Urbanized Territories*. 2015; 2:31–33. (rus.).

8. Delinière R., Aubert J.E., Rojat F., Gasc-Barbier M. Physical, mineralogical and mechanical characterization of ready-mixed clay plaster. *Building and Environment*. 2014; 80:11–17. DOI: 10.1016/j.buildenv.2014.05.012

9. Pawlak M. The influence of composition of gypsum plaster on its technological properties. *Archives of Foundry Engineering*. 2010; 10(4):55–60. URL: <ftp://www.afe.polsl.pl/pdf/AFE-10.s4-pdf/11-s.04-10.pdf>

10. Caetano D.E., Alves J.L., Neto R.L., Duarte T.P. Development of plaster mixtures formulations for additive manufacturing. *Advanced Structured Materials*. 2017; 65:257–277. DOI: 10.1007/978-3-319-50784-2_20 URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-50784-2_20

11. Asamatdinov M., Medvedev A., Zhukov A., Zarmanyany E., Poserenin A. Modeling of the composition of ecologically safe clay-gypsum binders. *MATEC Web of Conferences*. 2018; 193:03045. DOI: 10.1051/mateconf/201819303045

12. Chumachenko N.G., Dergunov S.A., Orekhov S.A. Energy efficient compositions of dry concrete mixes based on gypsum-bearing systems. *Procedia En-*

gineering. 2016; 150:1591–1599. DOI: 10.1016/j.pro-eng.2016.07.131 URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/82456979.pdf>

13. Lushnikova N., Dvorkin L. *Sustainability of gypsum products as a construction material. Sustainability of Construction Materials (Second Edition)*. 2016; 643–681. DOI: 10.1016/B978-0-08-100370-1.00025-1

14. Kondratieva N., Barre M., Goutenoire F., Sanytsky M. Study of modified gypsum binder. *Construction and Building Materials*. 2017; 149:535–542. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2017.05.140

15. Randazzo L., Montana G., Hein A., Castiglia A., Rodonò G., Donato D.I. Moisture absorption, thermal conductivity and noise mitigation of clay based plasters: The influence of mineralogical and textural characteristics. *Applied Clay Science*. 2016; 132–133:498–507. DOI: 10.1016/j.clay.2016.07.021

16. Rumiantcev B.M., Zhukov A.D., Zelenshikov D.B., Chkunin A.S., Ivanov K.K., Sazonova Yu.V. Insulation systems of the building constructions. *MATEC Web of Conferences*. 2016; 86:04027. DOI: 10.1051/mateconf/20168604027

17. Zhukov A.D., Asamatdinov M.O., Chkunin A.S., Ivanov K.K., Rumiantcev G.B. Wall materials using local raw materials. *Innovations in Life*. 2016; 4(19):35–43. (rus.).

18. Zhukov A.D., Korovyakov V.F., Naumova T.A., Asamatdinov M.O. Plaster mixes on the basis of a glinogips. *Science Review*. 2015; 10:98–101. (rus.).

19. Ross H., Stahl F. Plaster. *Practical guide: Materials, technology work, the prevention of defects / trans. from German N.A. Khrustaleva; under total ed. P.V. Zozulya*. Saint Petersburg, Quintet Publ., 2006; 273. (rus.).

20. Kozlov V.V. *Dry building mixes*. Moscow, ASV Publ., 2000; 140. (rus.).

21. Zhukov A.D., Korovyakov V.F., Asamatdinov M.O. Kinetics of heat clay gypsum binder. *Innovation in Life*. 2017; 1(20):104–113. (rus.).

22. Bergaya F., Lagaly G. Introduction to clay science. *Developments in Clay Science*. 2013; 1–7. DOI: 10.1016/B978-0-08-098259-5.00001-9

Received July 30, 2019.

Adopted in a revised form on September 15, 2019.

Approved for publication November 26, 2019.

BIONOTES: Alexander I. Panchenko — Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Technologies of Cohesive Materials and Concretes; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; PanchenkoAI@mgsu.ru;

Vitaliy N. Solov'ev — Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Construction of Thermal and Nuclear Power Facilities; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; tgs@mgsu.ru;

Nikita A. Tretyakov — student; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; isa@mgsu.ru;

Alexander D. Chernov — student; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; isa@mgsu.ru;

Ilmir R. Shaykhalov — student; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; isa@mgsu.ru.