

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

DOI: 10.34031/article_5d35d0b645d6f8.37881085

^{1,*}Логанина В.И., ¹Фролов М.В.¹Пензенский государственный университет архитектуры и строительства
Россия, 4400028, Пензенская область, г. Пенза, ул. Германа Титова, д. 28

*E-mail: loganin@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ СИНЕРГЕТИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА ДОБАВКИ НА ОСНОВЕ ГИДРОСИЛИКАТОВ И ГИДРОАЛЮМОСИЛИКАТОВ КАЛЬЦИЯ

Аннотация. Сухие строительные смеси различного функционального назначения находят широкое применение при проведении строительных работ. Для улучшения различных характеристик отделочных составов и покрытий на их основе в рецептуру сухих строительных смесей вводят модифицирующие добавки. В большинстве своем модифицирующие добавки поставляются иностранными компаниями, что существенно увеличивает себестоимость производства сухих строительных смесей. Поэтому актуальной задачей является разработка отечественных модифицирующих добавок. В работе предложено использовать в известковых теплоизоляционных отделочных составах для отделки газобетона модифицирующую добавку, минералогический состав которой представлен гидросиликатами и гидроалюмосиликатами кальция. Доказана целесообразность принятой двухстадийной технологии синтеза модифицирующей добавки. Установлен синергетический эффект влияния модифицирующей добавки на основе смеси гидросиликатов и гидроалюмосиликатов кальция на структурообразование известковых композитов. Выявлено, что при использовании модифицирующей добавки повышается прочность при сжатии и водостойкость известковых композитов, увеличивается скорость набора пластической прочности известкового состава. Модифицирующая добавка, минералогический состав которой представлен гидросиликатами и гидроалюмосиликатами кальция, использована в рецептуре теплоизоляционной сухой строительной смеси, предназначенной для наружной и внутренней отделки стен из газобетона.

Ключевые слова: сухие строительные смеси, известь, синергетический эффект, гидросиликаты кальция, гидроалюмосиликаты кальция, пуццоланическая активность, структурообразование.

Введение. Покрытия на основе известковых сухих строительных смесей (ССС) характеризуются высокими значениями коэффициентов паропроницаемости, обладают хорошей трещиностойкостью, способны хорошо воспринимать растягивающие усилия [1, 2]. Низкая прочность и водостойкость, долгие сроки твердения существенно ограничивают возможность использования известковых СССР для наружной отделки стен зданий. Для улучшения эксплуатационных свойств покрытий на основе известковых СССР в их рецептуру вводят модифицирующие добавки различной минеральной природы [3–7]. Введение гидросиликатов кальция позволяет повысить прочность и водостойкость известковых композитов [8]. Использование алюмосиликатов позволяет ускорить структурообразование известковых составов [9, 10]. В работе проверяется гипотеза, согласно которой использование в известковой СССР добавки на основе смеси гидросиликатов и гидроалюмосиликатов кальция позволит за счет синергетического эффекта одновременно повысить прочность и существенно ускорить структурообразование известковых составов.

Методология. Удельную поверхность определяли прибором ПСХ-12SP, работа которого основана на методе газопроницаемости Козени и

Кармана. Пуццоланическую активность, характеризующую способность добавки вступать во взаимодействие с известью, определяли методом поглощения извести из известкового раствора [11]. Прочность при сжатии получаемых в результате исследований композитов определяли с использованием испытательной машины типа ИР 5057-50. Пластическую прочность отделочной смеси определяли при помощи конического пластометра КП-3. Содержание свободной извести определяли титрованием навески измельченного образца при помощи соляной кислоты. Водостойкость образцов оценивали при помощи коэффициента размягчения.

Основная часть. Модифицирующую добавку на основе смеси гидросиликатов и гидроалюмосиликатов кальция получали по двухстадийной технологии синтеза [12, 13]. На первой стадии синтеза негашеную известь гасили водой, нагретой до 60 °С. Затем полученный раствор доводили до кипения и вливали в него нагретый до 60 °С раствор жидкого натриевого стекла, содержащий 122,4 г/л SiO₂ и 47,4 г/л Na₂O. Полученную смесь перемешивали в течение 15 минут, после чего отфильтровывали образовавшийся осадок. На второй стадии синтеза полученный осадок обрабатывали 10%-ным раствором сульфата

алюминия до момента, когда показатель рН раствора опускался до 6,5. Полученную смесь отфильтровывали. Осадки, полученные на первой и второй стадии синтеза, высушивали. Проведенный РФА показал, что минералогический состав добавки, полученной на первой стадии синтеза, представлен преимущественно гидросиликатами тоберморитовой группы. Минералогический состав добавки, полученной на второй стадии синтеза, представлен гидросиликатами тоберморитовой группы и гидроалюмосиликатами кальция [14].

Для оценки синергетического эффекта от использования гидросиликатов и гидроалюмосиликатов кальция дальнейшие исследования проводили параллельно для добавок, образовавшихся на первой и второй стадиях синтеза. Необходимо отметить, что на свойства модифицирующих добавок существенно влияние оказывает их удельная поверхность. Добавку, полученную на первой стадии синтеза, после высушивания до постоянной массы размалывали в шаровой мельнице в течение 30 минут, в результате чего её удельная поверхность $S_{уд}$ составила 480 м²/кг. Добавку, полученную на второй стадии синтеза, размалывать нет необходимости, после высушивания её удельная поверхность $S_{уд}$ составила 1380 м²/кг.

Удельная поверхность добавки, полученной на второй стадии синтеза, выше в 2,875 раза, чем удельная поверхность добавки, полученной на первой стадии синтеза, поэтому в силу своей физической природы добавка, полученная на второй стадии синтеза, должна проявлять большее влияние на процессы структурообразования известковых композитов.

Выявлено, что пуццоланическая активность добавки, полученной на первой стадии синтеза, спустя 30 суток с начала эксперимента составила

238,6 мг/г, пуццоланическая активность добавки, полученной на второй стадии синтеза, – 762,5 мг/г. Спустя 90 суток с начала эксперимента разница между показателями пуццоланической активности добавок, полученных на первой и второй стадии синтеза, еще больше увеличилась. Установлено, что добавка, полученная на первой стадии синтеза, активно поглощала известь в течение 40 суток, после чего скорость поглощения существенно уменьшилась и спустя 90 суток с начала эксперимента пуццоланическая активность достигла 285,0 мг/г. Добавка, полученная на второй стадии синтеза, активно поглощала известь в течение всех 90 суток, и в конце эксперимента пуццоланическая активность составила 1280,0 мг/г.

Установлено, что пуццоланическая активность добавки, полученной на второй стадии синтеза, превышает пуццоланическую активность добавки, полученной на первой стадии синтеза, в 3,2 раза спустя 30 суток с начала эксперимента и в 4,49 раза спустя 90 суток с начала эксперимента. Разница между значениями пуццоланической активности добавок, полученных на первой и второй стадии синтеза, превосходит разницу между значениями удельной поверхности, что можно объяснить сложением двух факторов: увеличенной удельной поверхностью и синергетическим эффектом от использования гидросиликатов и гидроалюмосиликатов кальция.

Для оценки синергетического эффекта и эффективности применения разрабатываемых добавок исследовали кинетику набора пластических свойств известковой смеси и кинетику набора прочности известкового композита. Содержание добавок составляло 10 % от массы извести.

Кривые набора пластической прочности известковой смеси представлены на рис. 1.

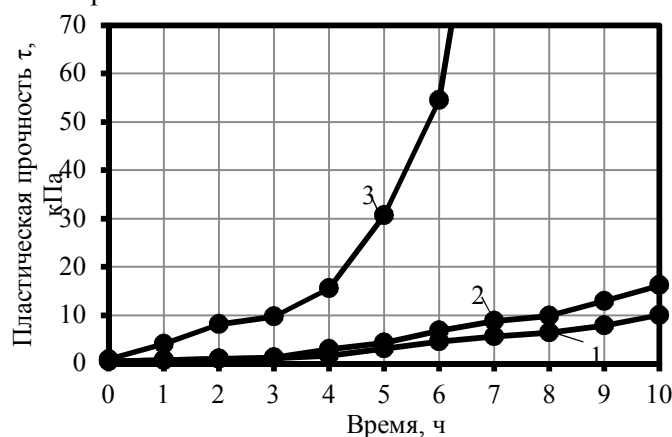


Рис. 1. Изменение пластической прочности известковой смеси: 1 – контрольный состав на известковом вяжущем, В/И=1; 2 – состав на известковом вяжущем с использованием добавки, полученной на первой стадии синтеза, В/И=1; 3 – состав на известковом вяжущем с использованием добавки, полученной на второй стадии синтеза, В/И=1

Установлено, что введение добавки, полученной на первой стадии синтеза, позволило увеличить скорость роста пластической прочности известкового состава. Спустя шесть часов после затворения пластическая прочность состава с использованием добавки, полученной на первой стадии синтеза, составила $\tau=6,80$ кПа (рис. 1, кривая 2), что в 1,5 раза выше пластической прочности контрольного состава. Введение добавки, полученной на второй стадии синтеза, позволило существенно увеличить скорость роста пластической прочности известкового состава. Спустя шесть часов после затворения пластическая прочность состава с использованием добавки, полученной на второй стадии синтеза, составила $\tau=54,56$ кПа (рис. 1, кривая 3), что в 12,04 раза

выше пластической прочности контрольного состава и в 8,02 раза выше пластической прочности состава с использованием добавки, полученной на первой стадии синтеза. Увеличение скорости структурообразования при использовании добавки, полученной на второй стадии синтеза, существенно превышает эффект, который можно было ожидать от увеличения площади удельной поверхности, что можно объяснить появлением в минералогическом составе добавки дополнительно гидроалюмосиликатов кальция.

Кинетика твердения известковых композитов с использованием добавок, полученных соответственно на первой и второй стадиях синтеза, представлена на рис. 2. Образцы твердели в воздушно-сухих условиях при температуре $18-20$ °С.

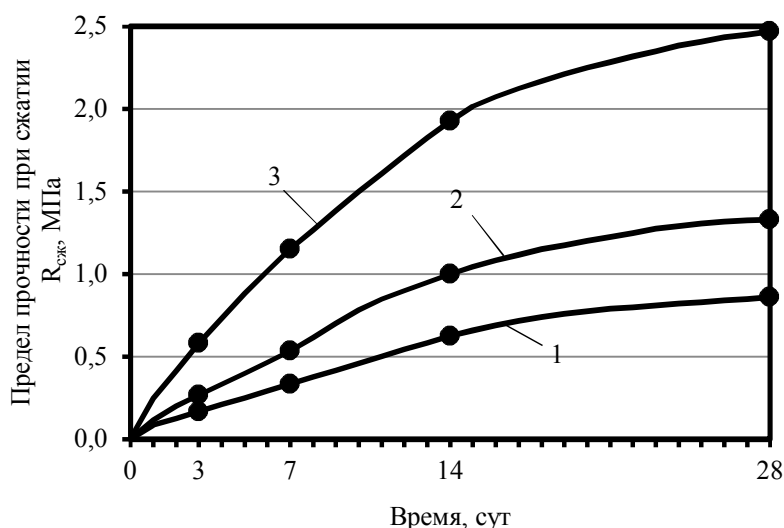


Рис. 2. Кинетика твердения известковых композитов:

1 – контрольный состав на известковом вяжущем; 2 – состав на известковом вяжущем с использованием добавки, полученной на первой стадии синтеза; 3 – состав на известковом вяжущем с использованием добавки, полученной на второй стадии синтеза

Данные, приведенные на рисунке 2, доказывают высокую эффективность добавок, полученных на первой и второй стадии синтеза. Подробные результаты оценки влияния синтезированных добавок на увеличение прочности при сжатии $\Delta R_{сж}$, %, известковых композитов при различных сроках твердения представлены в таблице 1.

Данные, представленные в таблице 1, показывают, что значение увеличения прочности при сжатии $\Delta R_{сж2}$ композитов с использованием добавки, полученной на второй стадии синтеза, значительно превосходит значение увеличения прочности при сжатии $\Delta R_{сж1}$ при использовании добавки, полученной на первой стадии синтеза. Существенную разницу между значениями увеличения прочности $\Delta R_{сж2}$ и значения увеличения

прочности $\Delta R_{сж1}$ можно объяснить, как увеличением удельной поверхности добавки, так и синергетическим эффектом от использования гидросиликатов и гидроалюмосиликатов кальция. Наибольшая разница между значениями $\Delta R_{сж2}$ и $\Delta R_{сж1}$ отмечена на 3 и 7 сутки твердения, что, очевидно, вызвано наличием в минералогическом составе модифицирующей добавки, полученной на второй стадии синтеза, гидроалюмосиликатов кальция, значительно увеличивающих скорость структурообразования известковых композитов.

Установлено, что в известковых композитах, полученных без использования добавок, после 28 суток твердения содержание свободной извести составило 49,1 %. При этом в образцах, с использованием добавки, полученной на первой стадии синтеза, содержание свободной извести снизи-

лось до 40,2 % в образцах с использованием добавки, полученной на второй стадии синтезосодержание свободной извести снизилось до 28,6 %.

Таблица 1

Оценка влияния добавок на кинетику твердения композитов

Время, сут	Увеличение прочности при сжатии		$\Delta R_{сж2}/\Delta R_{сж1}$
	Первая стадия синтеза $\Delta R_{сж1}$, %	Вторая стадия синтеза $\Delta R_{сж2}$, %	
3	58,8	241,2	4,102
7	60,6	248,5	4,101
14	58,7	206,3	3,514
28	54,6	187,2	3,429

Исследовали влияние модифицирующих добавок на водостойкость. Выявлено, что коэффициент размягчения известковых композитов $K_{разм}$ составил 0,35. Использование добавки, полученной на первой стадии синтеза, позволило повысить водостойкость до $K_{разм}=0,50$, использование добавки, полученной на второй стадии синтеза, позволило повысить водостойкость до $K_{разм}=0,77$.

Выводы. Проведенные в работе исследования доказывают синергетический эффект влияния модифицирующей добавки на основе смеси гидросиликатов и гидроалюмосиликатов кальция на структурообразование известковых композитов. При использовании добавки, полученной на второй стадии синтеза, в количестве 10 % от массы извести, повышается прочность при сжатии известковых композитов на 287,2 %, снижается содержание свободной извести с 49,1 % до 28,6 %, увеличивается скорость набора пластической прочности в 12,04 раза спустя шесть часов после затворения, существенно возрастает водостойкость известковых композитов.

С использованием добавки на основе смеси гидросиликатов и гидроалюмосиликатов кальция разработана теплоизоляционная ССС, предназначенная для отделки наружной и внутренней отделки стен из газобетона [15, 16]. Покрытие, полученное с использованием разработанной ССС, характеризуется средней плотностью $\rho=650$ кг/м³, коэффициентом теплопроводности $\lambda=0,137$ Вт/(м·°С), коэффициентом паропроницаемости $\mu=0,15$ мг/(м·ч·Па), адгезионной прочностью $R_{адг}=0,71$ МПа, морозостойкостью F35.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пухаренко Ю.В., Харитонов А.М., Шангина Н.Н., Сафонова Н.Ю. Реставрация исторических объектов с применением современных

сухих строительных смесей // Вестник гражданских инженеров. 2011. №1(26). С. 98–103.

2. Шангина Н.Н., Харитонов А.М. Особенности производства и применения сухих строительных смесей для реставрации памятников архитектуры // Сухие строительные смеси. 2011. №4. С. 16–19.

3. Fang S.Q., Zhang H., Zhang, B.J. Zheng Y. The identification of organic additives in traditional lime mortar // Journal of Cultural Heritage. 2014. №15(2). Pp. 144–150.

4. Konakova D., Cachova M., Vejmelkova E., Keppert M. Lime-based plasters with combined expanded clay-silica aggregate: Microstructure, texture and engineering properties // Cement and Concrete Composites. 2017. №83. Pp. 144–150.

5. Баталин, Б.С. Исследования эффективности добавок, применяемых для производства сухих строительных смесей // Успехи современного естествознания. 2007. № 7. С. 60–62.

6. Гонтарь, Ю.В., Чалова А.И. Модифицированные сухие смеси для отделочных работ // Строительные материалы. 2001. № 4. С. 8–10.

7. Lagazzo A., Vicinib S., Cattaneo C., Botter R. Effect of fatty acid soap on microstructure of lime-cement mortar // Construction and Building Materials. 2016. №116. Pp. 384–390.

8. Pyshkina I.S., Zhegera K.V., Martyashin G.V. Methods of obtaining modifying supplement based on calcium hydrosilicates for lime dry mixes // IOP Conference Series-Materials Science and Engineering. 2018. № 451(1).

9. Loganina V.I., Sadovnikova M.A., Jezierski W., Modification of Lime Mortars with Synthesized Aluminosilicates // IOP Conference Series-Materials Science and Engineering. 2017. №245.

10. Zhegera K.V. Use of amorphous aluminosilicates as modifying additive in formulations of lime mortars // IOP Conference Series-Materials Science and Engineering. 2018. № 451(1).

11. Зырянов М.С., Ахметжанов А.М., Манушина А.С., Потапова Е.Н. Определение пуццолановой активности метакаолина // Успехи в химии и химической технологии. ТОМ XXX. 2016. № 7. С. 44–46.

12. Логанина В.И., Кислицына С.Н., Фролов М.В., Рябов М.А. Разработка добавки на основе смеси синтезированных гидросиликатов кальция и алюмосиликатов для сухих строительных смесей // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. 2015. №2. С. 93–95.

13. Loganina V.I., Kislitsyna S.N., Frolov M.V., Addition on the Basis of Mix of the Synthesized Hydrosilicates of Calcium and Aluminosilicates for Dry Building Mixtures // Procedia Engineering. 2016. №150. Pp. 1627–1630.

14. Жерновский И.В., Логанина В.И., Кислицина С.Н., Фролов М.В. Структурообразование известковых композитов в присутствии гидросиликатов и алюмосиликатов кальция // Региональная архитектура и строительство. 2015. №4 (25). С. 42-47.

15. Loganina V.I., Frolov M.V. Heat-insulating Finishing Composition of the Optimal Structure with

Microspheres // IOP Conference Series-Materials Science and Engineering. 2019. № 471.

16. Логанина В.И., Фролов М.В. Использование зольных алюмосиликатных микросфер в известковых сухих строительных смесях для отделки // Вестник БГТУ им В.Г.Шухова. 2017. №3. С. 6–8.

Информация об авторах

Логанина Валентина Ивановна, доктор технических наук, заведующий кафедрой управления качеством и технология строительного производства. E-mail: loganin@mail.ru. Пензенский государственный университет архитектуры и строительства. Россия, 440028, Пенза, ул. Германа Титова, д. 28.

Фролов Михаил Владимирович, младший научный сотрудник. E-mail: mihaile-frolov@yandex.ru. Пензенский государственный университет архитектуры и строительства. Россия, 440028, Пенза, ул. Германа Титова, д. 28.

Поступила в мае 2019 г.

© Логанина В.И., Фролов М.В., 2019

^{1,*}**Loganina V.I., ¹Frolov M.V.**

¹*Penza State University of Architecture and Construction
Russia, 440028, Penza region, Penza, Germama Titova Street, 28*

**E-mail: loganin@mail.ru*

STUDY OF THE SYNERGETIC EFFECT OF ADDITIVE BASED ON CALCIUM HYDROSILICATES AND HYDROALUMINOSILICATES

Abstract. Dry mixes of various functional purposes are widely used in construction works. Modifying additives are introduced into the composition of dry building mixtures to improve various characteristics of finishing compositions and coatings. Foreign companies supply most modifying additives, this significantly increases the cost of production of dry building mixtures. Therefore, the urgent task is to develop domestic modifying additives. The paper proposes the use of modifying additive for the finishing of aerated concrete in calcareous heat-insulating finishing compositions, the mineralogical composition of which is consisted of hydrosilicates and calcium hydroaluminosilicates. The expediency of the adopted two-stage technology for the synthesis of the modifying additive is proved. The synergistic effect of the modifying additive influence based on a mixture of hydrosilicates and calcium hydroaluminosilicates on the structure formation of lime composites is established. It is revealed that the use of modifying additive increases the compressive strength, the water resistance of lime composites and the speed of the set of flexible strength of the lime composition. The modifying additive, the mineralogical composition of which is represented by hydrosilicates and calcium hydroaluminosilicates, is used in the formulation of thermal insulation of dry mixes designed for interior and exterior walls of aerated concrete.

Keywords: dry building mixtures, lime, synergistic effect, calcium hydrosilicates, calcium hydroaluminosilicates, pozzolanic activity, structure formation.

REFERENCES

1. Puharenko Yu.V., Kharitonov A.M., Shangina N.N., Safonova N.Yu. Restoration of historical objects using modern dry building mixtures [*Restavraciya istoricheskikh ob"ektov s primeneniem sovremennyh suhih stroitel'nyh smesej*]. Bulletin of Civil Engineers. 2011. No. 1(26). Pp. 98–103. (rus)
2. Shangina N.N., Kharitonov A.M. Features of the production and use of dry building mixtures for the restoration of architectural monuments [*Osobennosti proizvodstva i primeneniya suhihstroitel'nyh smesej dlya restavracii pamyatnikov*

arhitektury]. Dry Building Mixes. 2011. No. 4. Pp. 16–19. (rus)

3. Fang S.Q., Zhang H., Zhang B.J., Zheng Y. The identification of organic additives in traditional lime mortar. Journal of Cultural Heritage. 2014. No. 15(2). Pp. 144–150.

4. Konakova D., Cachova M., Vejmelkova E., Keppert M. Lime-based plasters with combined expanded clay-silica aggregate: Microstructure, texture and engineering properties. Cement and Concrete Composites. 2017. No. 83. Pp. 144–150.

5. Batalin B.S. Studies of the effectiveness of additives used for the production of dry building

mixtures [*Issledovaniya effektivnosti dobavok, primenyaemykh dlya proizvodstva suhikh stroitel'nykh smesey*]. Advances in current natural sciences. 2007. No. 7. Pp. 60–62. (rus)

6. Gontar Yu.V., Chalova A.I. Modified dry mixes for finishing works [*Modificirovannye suhie smesi dlya otdelochnykh rabot*]. Construction materials. 2001. No. 4. Pp. 8–10. (rus)

7. Lagazzo A., Vicinib S., Cattaneoc C., Botter R. Effect of fatty acid soap on microstructure of lime-cement mortar. Construction and Building Materials. 2016. No. 116. Pp. 384–390.

8. Pyshkina I.S., Zhegera K.V., Martyashin G.V. Methods of obtaining modifying supplement based on calcium hydrosilicates for lime dry mixes. IOP Conference Series-Materials Science and Engineering. 2018. No. 451(1).

9. Loganina V.I., Sadovnikova M.A., Jezierski W., Modification of Lime Mortars with Synthesized Aluminosilicates. IOP Conference Series-Materials Science and Engineering. 2017. No. 245.

10. Zhegera K.V. Use of amorphous aluminosilicates as modifying additive in formulations of lime mortars. IOP Conference Series-Materials Science and Engineering. 2018. No. 451(1).

11. Zyryanov M.S., Akhmetzhanov A.M., Manushina A.S., Potapova E.N. Determination of potazzolanic activity of metakaolin [*Opredelenie puccolanovoy aktivnosti metakaolina*]. Advances in chemistry and chemical technology. Book XXX. 2016. No. 7. Pp. 44–46. (rus)

12. Loganina V.I., Kislitsyna S.N., Frolov M.V., Ryabov M.A. Development of an additive based on a mixture of synthesized calcium hydrosilicates and aluminosilicates for dry building mixtures [*Razrabotka dobavki na osnove smesi sintezirovannykh gidrosilikatov kal'ciya i alyumosilikatov dlya suhikh stroitel'nykh smesey*]. Akademicheskii Vestnik UralNIIproekt RAASN. 2015. No. 2. Pp. 93–95. (rus)

13. Loganina V.I., Kislitsyna S.N., Frolov M.V., Addition on the Basis of Mix of the Synthesized Hydrosilicates of Calcium and Aluminosilicates for Dry Building Mixtures. Procedia Engineering. 2016. No. 150. Pp. 1627–1630.

14. Zhernovsky I.V., Loganina V.I., Kislitsyna S.N., Frolov M.V. Structure formation of lime composites in the presence of hydrosilicates and calcium aluminosilicates [*Strukturoobrazovanie izvestkovykh kompozitov v prisutstvii gidrosilikatov i alyumosilikatov kal'ciya*]. Regional Architecture and Construction. 2015. No. 4 (25). Pp. 42–47. (rus)

15. Loganina V.I., Frolov M.V., Heat-insulating Finishing Composition of the Optimal Structure with Microspheres. IOP Conference Series-Materials Science and Engineering. 2019. No. 471.

16. Loganina V.I., Frolov M.V. Use of ash aluminosilicate microspheres in limy dry construction mixtures for finishing [*Ispol'zovanie zol'nykh alyumosilikatnykh mikrosfer v izvestkovykh suhikh stroitel'nykh smesyah dlya otdelki*]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2017. No. 3. Pp. 6–8. (rus)

Information about the authors

Loganina, Valentina I. DSc. E-mail: loganin@mail.ru. Penza State University of Architecture and Construction. Russia, 440028, Penza, German Titov, st. 28.

Frolov, Mikhail V. Junior Researcher. E-mail: mihail-frolovv@yandex.ru. Penza State University of Architecture and Construction. Russia, 440028, Penza, German Titov, st. 28.

Received in May 2019

Для цитирования:

Логанина В.И., Фролов М.В. Исследование синергетического эффекта добавки на основе гидросиликатов и гидроалюмосиликатов кальция // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 7. С. 8–13. DOI: 10.34031/article_5d35d0b645d6f8.37881085

For citation:

Loganina V.I., Frolov M.V. Study of the synergetic effect of additive based on calcium hydrosilicates and hydroaluminosilicates. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 7. Pp. 8–13. DOI: 10.34031/article_5d35d0b645d6f8.37881085