

Строительные материалы и изделия

Научная статья
УДК 691.553
<https://doi.org/10.24866/2227-6858/2021-4/66-73>

Н.А. Белькова, М.П. Степанова, Ю.В. Макушина

БЕЛЬКОВА НАТАЛЬЯ АНАТОЛЬЕВНА – к.т.н., доцент (автор, ответственный за переписку), verlnata@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-3005-5956>
СТЕПАНОВА МАРИЯ ПЕТРОВНА – к.т.н., доцент, maх035@yandex.ru
МАКУШИНА ЮЛИЯ ВАЛЕРЬЕВНА – аспирант, makuschina2000@gmail.com
Воронежский государственный технический университет
Воронеж, Россия

Способы повышения конкурентоспособности сухих строительных смесей на основе гипса

Аннотация: Сухие строительные смеси должны иметь широкий спектр потребительских свойств, одним из которых является показатель трещиностойкости. Настоящая статья посвящена исследованиям путей повышения конкурентоспособности гипсовых штукатурок по этому показателю. Одним из эффективных способов повышения стойкости штукатурок к появлению трещин является микроармирование полимерным фиброволокном. Установлено, что введение в смесь полиамидного фиброволокна длиной 3 и 6 мм повышает показатели прочности при сжатии, изгибе и величину адгезии примерно в 1,5 раза. При этом лучшие результаты по показателю трещиностойкости получены для состава, содержащего фиброволокно длиной 3 мм в количестве 0,4 % от массы. Проведены эксперименты и сравнение показателей потребительских свойств полученных штукатурных смесей с смесями конкурентов, которые показали преимущество смесей с микроармированием фиброволокном.

Ключевые слова: гипсовая штукатурка, трещиностойкость, полиамидное фиброволокно, потребительское свойство, конкурентоспособность

Для цитирования: Белькова Н.А., Степанова М.П., Макушина Ю.В. Способы повышения конкурентоспособности сухих строительных смесей на основе гипса // Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета. 2021. № 4(49). С. 66–73. <https://doi.org/10.24866/2227-6858/2021-4/66-73>

Введение

Четверть века назад российский рынок сухих строительных смесей (ССС) не был столь разнообразным, как сейчас. Первые ССС начали появляться в конце 1980-х годов и поставлялись в основном из Скандинавии [4, 9]. Линейка ССС включает достаточно большое количество наименований, при этом значительную долю занимают сухие смеси на основе гипса. Если рассматривать историю развития промышленности материалов на основе гипсового вяжущего, то в таких странах, как Германия, Испания, Франция, США, Канада, их применение получило широкое распространение еще несколько десятилетий назад.

К 2007 г. в России насчитывалось более 200 предприятий, занимающихся производством модифицированных ССС. К крупнейшим предприятиям относятся фирмы «Кнауф», «Евро-л», «Юнис» и «Волма». Наибольшей популярностью у потребителей пользуются ССС на основе гипсового вяжущего, особенно гипсовые штукатурки, выпуск которых составил в 2018 г. 3,16 млн тонн. Поэтому вопросы разработки новых конкурентоспособных составов являются весьма актуальными.

Для определения основных направлений повышения конкурентоспособности был проведен анализ основных потребительских свойств гипсовых ССС методом экспертных оценок [10]. Результаты представлены в табл. 1.

© Белькова Н.А., Степанова М.П., Макушина Ю.В., 2021

Статья: поступила: 20.10.2021; рецензия: 29.10.2021; финансирование: Воронежский государственный технический университет.

При оценке коэффициентов весомости выполнялось условие

$$\sum_{i=1}^n M_i = 0,16 + 0,06 + 0,21 + 0,19 + 0,27 + 0,11 = 1,$$

где n – количество показателей, характеризующих потребительские свойства рассматриваемой штукатурки.

Таблица 1

Результаты расчета коэффициента весомости показателей потребительских свойств гипсовой штукатурки

Свойство, i	Значение балльной оценки М по экспертам (1–6)						Средний коэффициент весомости $M' = \sum M / r$	Общая сумма средних коэффициентов $\sum M'$	Коэффициент весомости для каждого показателя $M_i = M' / \sum M'$
	1	2	3	4	5	6			
Начало схватывания	2	4	4	3	3	4	3,33	21	0,16
Прочность при сжатии	1	1	1	2	1	1	1,17		0,06
Сцепление с основанием	3	6	5	4	6	3	4,50		0,21
Расход	5	2	3	5	4	5	4,00		0,19
Стойкость к образованию трещин	6	5	6	6	5	6	5,67		0,27
Прочность на растяжение при изгибе	4	3	2	1	2	2	2,33		0,11

В результате установлено, что основными потребительскими свойствами гипсовой штукатурки для потребителей являются «стойкость к образованию трещин» и «сцепление с основанием». Согласно исследованиям [1, 6] причины появления трещин в материалах на основе гипсовых вяжущих различны. Это и конструкционные и усталостные дефекты, и разрушение в результате пластических и контракционных напряжений [1]. Особенно актуальной является эта проблема при использовании гипсовых штукатурок на основаниях из газосиликата, вызывающее как трещинообразование, так и отслоение штукатурки. Причиной является сильная водопоглощающая способность газобетона [6].

Методы борьбы с растрескиванием можно разделить на три основные группы:

- 1) улучшение вододерживающей способности штукатурного раствора;
- 2) армирование штукатурной массы;
- 3) снижение впитывающей способности поверхности газобетона.

В ходе анализа работ отечественных и зарубежных ученых [2, 3, 5, 7, 8, 11–14] было установлено, что существует множество путей повышения качества ССС на основе гипсовых вяжущих. Основные перспективы их применения представлены в работах [3, 11], в которых изучена модификация структуры ССС многофункциональными добавками. Исследованиями [3] установлено, что наибольшие экономический и технический эффекты от повышения качества ССС на основе гипса достигаются при механоактивации ССС с полифункциональными комплексными добавками, состоящими из двух и более целевых добавок различных классов.

Рассмотрим модифицирование гипсовых штукатурок полимерным фиброволокном для улучшения качества по показателям прочности при изгибе и сжатии, трещиностойкости [12, 13]. В [12] исследовалось влияние на ССС свойств волокон двух видов и два способа введения микроволокон в смесь, что способствовало их равномерному распределению в вяжущем и повышению предела прочности на изгиб.

Основная цель работы – оценка возможности повышения конкурентоспособности гипсовых штукатурок путем их микроармирования полимерным фиброволокном.

Для ее достижения были поставлены следующие задачи:

1. Исследовать влияние расхода и длины полиамидного фиброволокна на основные свойства гипсовой штукатурки.
2. Оценить показатель трещиностойкости оптимальных составов.
3. Оценить конкурентоспособность полученных составов гипсовой штукатурки.

Материалы и методы исследований

Эксперименты проводились на базе Воронежского государственного университета в 2020 г. на научном оборудовании Центра коллективного пользования им. проф. Ю.М. Борисова. В качестве объекта исследований использовалась одна из сухих строительных штукатурных смесей местного производителя (табл. 2).

Таблица 2

Характеристики гипсовой штукатурки

Характеристика	Показатель
Цвет	белый
Жизнеспособность	45 мин
Начало схватывания	не ранее 45 мин
Конец схватывания	не позднее 180 мин
Прочность сцепления с основанием	не менее 0,5 МПа
Расход смеси на 1 м ² при слое 10 мм	10 кг

Осуществлялось модифицирование высокопрочным полиамидным фиброволокном «Fibra №1 Master» производства компании «ИНКОМСТРОЙ» 3 и 6 мм. Плотность 1,144 г/см³, предел прочности на разрыв 3389 МПа, относительное удлинение при растяжении на разрыв 18,3 %. Параметры факторного пространства представлены в табл. 3.

Таблица 3

Параметры факторного пространства

Вид фиброволокна	Расход, %							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Fibra №1 Master 3 мм	0,2	0,4	0,6	0,8	-	-	-	-
Fibra №1 Master 6 мм	-	-	-	-	0,2	0,4	0,6	0,8

Основные свойства смесей оценивались по ГОСТ Р 58276-2018. Исследования по показателю трещиностойкости оптимизированных составов штукатурок по сравнению с базовым составом проводились следующим образом: на негрунтованную пластину газосиликата плотностью 600 кг/м³ и размерами 1000x1000 мм наносилась штукатурка толщиной от 3 до 20 мм и выдерживалась в течении 10 ч. Образцы фотографировались, визуально оценивались количество и размеры.

Результаты исследований и их обсуждение

Результаты исследований влияния расхода фиброволокна на основные свойства гипсовой штукатурки показали, что введение фиброволокна любой длины повышает показатели прочности при изгибе и сжатии до 1,5 раз (с 1,6 до 2,25...2,6 МПа для прочности при изгибе и с 1,9 до 2,5...2,83 МПа для прочности при сжатии). Довольно значительно повышается и показатель адгезии (сцепления с основанием): с 0,3 до 0,45 МПа; также независимо от длины фиброволокна (таблицы 4, 5). Этим можно объяснить способность фиброволокон создавать в структуре объемную армирующую сетку.

Также было установлено, что для фиброволокна длиной 3 мм расход в 0,6 % от массы ССС является предельным, так как введение фиброволокна в количестве 0,8 % невозможно из-за их слишком большого объема.

Таблица 4

Характеристики гипсовой штукатурки с фиброволокном длиной 3 мм

Кол-во фиброволокна, %	В/Т, %	Подвижность, мм	Начало схватывания, мин	Водоудерживающая способность, %	Прочность на изгиб, МПа	Прочность на сжатие, МПа	Адгезия, МПа	Плотность раствора, кг/м ³
0	50	155	85	96,7	1,6	1,9	0,3	1,40
0,2	48	160	90	96,7	1,7	2,5	0,35	1,39
0,4	49	150	80	97,3	2,6	2,7	0,42	1,43
0,6	55	155	70	97,7	1,8	1,1	0,45	1,16
0,8	Большой объем волокон, неудобно в использовании							

Таблица 5

Характеристики гипсовой штукатурки с фиброволокном длиной 6 мм

Кол-во фиброволокна, %	В/Т, %	Подвижность, мм	Начало схватывания, мин	Водоудерживающая способность, %	Прочность на изгиб, МПа	Прочность на сжатие, МПа	Адгезия, МПа	Плотность раствора, кг/м ³
0	50	155	85	96,7	1,6	1,9	0,3	1,40
0,2	48	154	125	97,1	1,75	2,43	0,36	1,35
0,4	48	150	110	97,4	1,91	2,83	0,4	1,4
0,6	48	152	110	97,7	2,25	2,44	0,45	1,36
0,8	49	155	115	96,2	2,05	2,02	0,45	1,38

В целом можно сказать, что введение в гипсовую штукатурную смесь фиброволокна приводит к оптимизации структуры затвердевшего раствора и, как следствие, улучшению его качественных показателей и уменьшению расхода смеси. Оптимальные расходы фиброволокна составляют 0,4 % от массы смеси. Результаты исследования влияния длины фиброволокна на показатель трещиностойкости оптимизированных составов штукатурок по сравнению с базовым составом представлены на рис. 1.



Рис. 1. Вид поверхности гипсовой штукатурки:
 а) базовый состав; б) с фиброволокном длиной 3 мм; в) с фиброволокном длиной 6 мм

Установлено, что введение в гипсовую штукатурку фиброволокна длиной 3 мм снижает как количество, так и толщину трещин. На рисунке 1 видно, что на базовом составе штукатурки наблюдаются многочисленные трещины толщиной до 1 мм. На образцах с улучшенными составами трещин гораздо меньше и толщина их небольшая (не толще волокна). При введении фиброволокна длиной 6 мм также наблюдается уменьшение количества трещин, однако их гораздо больше, чем для фибры длиной 3 мм. Толщина трещин также снижается.

На третьем этапе исследований проводилась оценка потребительских свойств полученных составов ССС гипсовых штукатурок с характеристиками смесей основных конкурентов. Значения показателей свойств гипсовых штукатурных смесей-конкурентов были приняты по данным производителей: а) ССС «Волма» <https://www.volma.ru>; б) ССС «Кнауф» <https://www.knauf.ru>; в) интернет-магазин «UNIS» <https://unistrom.ru>; г) ССС «Евро-Л» <http://www.evro-l.ru>. Установлены значения показателей для продукта эталона (табл. 7). Расчеты относительного показателя конкурентоспособности продуктов представлены на рис. 2.

Таблица 7

Показатели потребительских свойств гипсовой штукатурки

Показатели свойств	Значение показателей продуктов-конкурентов (P _{ij})						Значение показателей продукта-эталона
	Евро-Л	Юнис	Кнауф	Волма	0,4% Fibra 3 мм	0,4% Fibra 6 мм	
Начало схватывания, мин	60	60	50	45	80	110	110
Прочность при сжатии, МПа	3	3,5	2,5	2,0	2,7	2,83	3,5
Сцепление с основанием, МПа	0,6	0,4	0,6	0,5	0,45	0,4	0,6
Расход, кг/м	9,5	12,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5
Стойкость к образованию трещин	Стойкие						Стойкие
Прочность на растяжение при изгибе	1,2	1,5	1,0	1,0	2,6	1,91	2,6

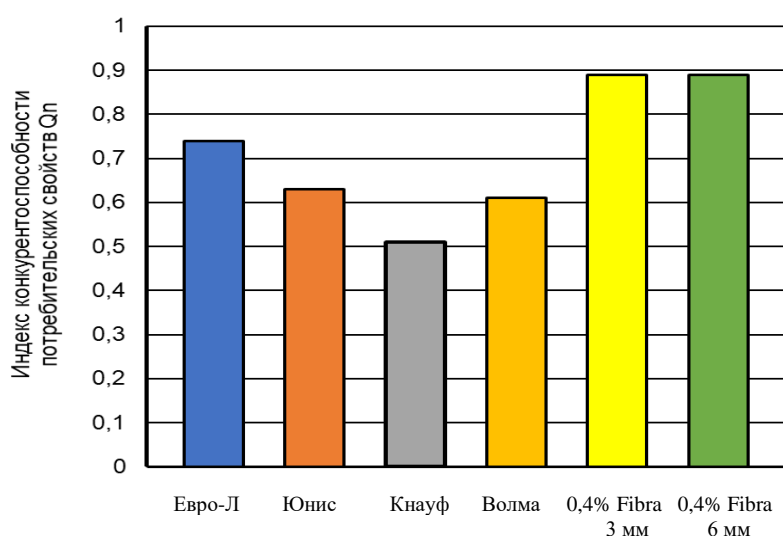


Рис. 2. Индекс конкурентоспособности потребительских свойств гипсовой штукатурки разных производителей

Вывод: наиболее конкурентоспособными по потребительским свойствам и относительному показателю конкурентоспособности являются гипсовые штукатурки с добавлением 0,4 % «Fibra №1 Master» длиной 3 мм и длиной 6 мм.

Заключение

1. В результате экспериментальных исследований установлено, что оптимальной длиной фиброволокна является длина 3 мм. Был определен оптимальный расход фиброволокна, который составил 0,4 % для фиброволокон длиной как 3 мм, так и 6 мм. Прочность на растяжение при изгибе увеличилась примерно в 3 раза, прочность при сжатии – в 1,5 раза. При этом введение фиброволокна значительно снизило трещиностойкость гипсовой штукатурки на поверхности силикатного кирпича и газосилика.

2. Разработанные составы имеют максимальные индекс конкурентоспособности потребительских свойств и относительной показатель конкурентоспособности.

3. Выявлены преимущества гипсовых штукатурок с добавлением фиброволокна: увеличение прочностных показателей и трещиностойкости. К недостаткам относятся технологические проблемы по введению фиброволокна в гипсовую смесь и «волосатость» полученной поверхности.

Заявленный вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Василик П.Г., Голубев И.В. Трещины в штукатурках // Строительные материалы. 2003. № 4. С. 14–16. URL: https://www.eurohim.ru/upload/art%20SSS_Tre%20v.pdf (дата обращения: 12.08.2021).
2. Завадская Л.В., Бердов Г.И., Агалакова Я.С., Шишмакова Е.А. Влияние дисперсных минеральных добавок на структуру и прочность гипсового камня // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2013. № 10(658). С. 18–22.
3. Заикина А.С., Коровяков В.Ф. Модифицированные гипсовые смеси для наружной штукатурки // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2010. № 4. С. 16–20.
4. Копылов И.А. Отечественные строительные материалы 2017: итоги и перспективы // Сухие строительные смеси. 2017. № 2. С. 41–43.
5. Кузьмина В.П. Составы и способы получения сухих строительных смесей // Сухие строительные смеси. 2018. № 5. С. 25–30.
6. Литвиненко С.В., Поташев М.Г., Балмасов Г.Ф. К вопросу о трещиностойкости гипсовых штукатурок на газобетонных основаниях // Сухие строительные смеси. 2017. № 4. С. 30–37.
7. Миронов В.А., Белов В.В., Голубев А.И., Смирнов М.А. Оптимизирование композиций для изготовления строительных смесей. Санкт-Петербург: Квинтет, 2008. 387 с.
8. Некрасова С.А., Гаркави М.С., Е.Н. Булдыжова. Сухие строительные смеси на основе стабилизированного гипсового вяжущего // Строительные материалы. 2014. № 7. С. 32–33.
9. Пуценко К.Н., Балабанов В.Б. Перспективы развития и применения сухих строительных смесей на основе гипса // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2015. № 7(102). С. 148–154.
10. Сидельцева Х.Е., Сацута А.Е., Васендина Е.А. Экспертная оценка как метод анализа качества продукции // Качество как условие повышения конкурентоспособности и путь к устойчивому развитию: II Междунар. науч.-практ. конф. (МНПК-II): мат. конф., Улан-Удэ, 14–19 сентября 2014. Улан-Удэ: Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления, 2014. С. 133–139.
11. Халиуллин М.И., Гайфуллин А.Р. Штукатурные сухие смеси на основе композиционного гипсового вяжущего повышенной водостойкости // Известия КГАСУ. 2010. № 2(14). С. 292–296.
12. Чернышева Н.В., Рыбцова М.Б. Влияние микроармирующих волокон на свойства гипсосодержащих композитов // Вестник БГТУ им. В.Г.Шухова. 2010. № 1. С. 73–76.

13. Chen X., Gao J., Liu C., Zhao Y. Effect of neutralization on the setting and hardening characters of hemihydrate phosphogypsum plaster. *Construction and Building Materials*. 2018;190:53–64. doi:10.1016/j.con-buildmat.2018.09.095
14. Pereira A., Palha F., Brito J. de, Silvestre J.D. Diagnosis and repair of gypsum plaster coatings: statistical characterization and lessons learned from a field survey. *Journal of Civil Engineering and Management*. 2014;20(4):485-496. doi:10.3846/13923730.2013.801918

FEFU: SCHOOL of ENGINEERING BULLETIN. 2021. N 4/49

Building Materials and Productswww.dvfu.ru/en/vestnikis

Original article

<https://doi.org/10.24866/2227-6858/2021-4/66-73>

Belkova N., Stepanova M., Makushina Yu.

NATALIA A. BELKOVA, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor (corresponding author), verlnata@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-3005-5956>

MARIYA P. STEPANOVA, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, max035@ya.ru

YULIYA V. MAKUSHINA, Postgraduate Student, makuschina2000@gmail.com

Voronezh State Technical University

Voronezh, Russia

The ways to improve competitiveness of dry building gypsum mixtures

Abstract: Dry building mixtures must have a wide range of consumer properties including crack resistance. The paper presents the ways to increase the competitiveness of gypsum mixture accounting for this parameter. One of the methods is microreinforcement with polymeric fibrous fiber. It has been found that the addition of 3 and 6 mm length polyamide fiber to the mixture increases the compressive and bending strengths, and adhesion by about 1.5 times. The crack resistance index was obtained for a composition containing 3 mm length fiber in an amount of 0.4% of the mass. The tests were made for comparison of indicators of consumer properties of the obtained mixtures with existing on market, resulting to obtained mixtures were best.

Keywords: dry building mixture, gypsum, polyamide fiber, crack resistance, consumer property, competitiveness

For citation: Belkova N., Stepanova M., Makushina Yu. The ways to improve competitiveness of dry building gypsum mixtures. *FEFU: School of Engineering Bulletin*. 2021;(49):66-73. (In Russ.). <https://doi.org/10.24866/2227-6858/2021-4/66-73>

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

The authors declare no conflict of interests.

REFERENCES

1. Vasilik P.G., Golubev I.V. Cracks in plaster. *Construction materials*. 2003;4:4-16.
2. Zavadskaya L.V., Berdov G.I., Agalakova J.S., Shishmakova E.A. Influence of dispersed mineral additives on the structure and strength of gypsum. *News of higher educational institutions. Construction*. 2013;(658):18–22.
3. Zaikina A.S., Korovyakov V.F. Modified plaster mixtures for external plaster. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhova*. 2010;4:16–20.
4. Kopylov I.A. Domestic construction materials 2017: results and prospects. *Dry construction mixes*. 2017;2:41–43.
5. Kuzmina V.P. Structures and ways of receiving dry construction mixes. *Dry construction mixes*. 2018;5:25–30.
6. Litvinenko S.V., Potashev M.G., Balmasov G.F. To the question of crack resistance of plaster plaster on aerated concrete bases. *Dry building mixtures*. 2017;4:30-37.
7. Mironov V.A., Belov V.V., Golubev A.I., Smirnov M.A. Optimizing compositions for making construction mixtures. *St. Petersburg, Quintet*, 2008. 387 p.
8. Nekrasova S.A., Garkavi M.S., Buldyzhova E.N. Dry building mixes on the basis of stabilized gypsum binder. *Construction materials*. 2014;7:32-33.

9. Putsenko K.N., Balabanov V.B. Development and application prospects of dry gypsum-based construction mixtures. *Proceedings of Irkutsk State Technical University*. 2015;(102):48-154.
10. Sideltseva H.E., Satsuta A.E., Vasendina E.A. Expert opinion as method of analysis of quality. Quality as a condition for increasing competitiveness and the path to sustainable development. II International Scientific and Practical Conference, proc. conf., Ulan-Ude, September 14–19, 2014. Ulan-Ude, East Siberian State University of Technology and Management, 2014. 133–139 p.
11. Khaliullin M.I., Gayfullin A.R. Plaster dry mixes on the basis of composite gypsum knittinthe raised water resistance. *News of the Kazan State University of Architecture and Engineering*. 2010;(14):292-296.
12. Chernysheva N.V., Rybtsova M.B. Influence of microarming fibers on the properties of gypsum-containing composites. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*. 2010;1:73-76.
13. Chen, X., Gao, J., Liu, C., Zhao, Y. Effect of neutralization on the setting and hardening characters of hemihydrate phosphogypsum plaster. *Construction and Building Materials*. 2018;190:53–64. doi:10.1016/j.conbuildmat.2018.09.095
14. Pereira A., Palha F., Brito J. de, Silvestre J.D. Diagnosis and repair of gypsum plaster coatings: statistical characterization and lessons learned from a field survey. *Journal of Civil Engineering and Management*. 2014;20(4):485-496. doi:10.3846/13923730.2013.801918