Исследование технологических свойств гипсовой штукатурной смеси методами математического моделирования

Кидакоев Мурат Мухадинович
кандидат технических наук, доцент кафедры общенаучных и инженерных дисциплин, Северо-Кавказская государственная академия, kidakoevmurat0709@mail.ru,

Кидакоев Альберт Мухадинович
кандидат технических наук, доцент кафедры общенаучных и инженерных дисциплин, Северо-Кавказская государственная академия, albertkidakoev8@gmail.com,

Кидакоев Батраз Муратович
ассистент, департамент техносферной безопасности, Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы, bk515@yandex.ru,

Кидакоева Меремхан Муратовна
консультант, Инспекция государственного строительного надзора, контроля и надзора в области долевого строительства, Министерство строительства и ЖКХ Карачаево-Черкесской Республики, meremhan2377@mail.ru

Проведено исследование влияния функциональных добавок на технологические свойства гипсовой штукатурной смеси (далее – ГШС). С целью исследования действия функциональных добавок на технологические свойства ГШС был спланирован полный четырехфакторный эксперимент, имеющий две градации (4x2). Представлены статистические методы математического моделирования технологических свойств ГШС. Получены уравнения линейной регрессии в форме полинома первой степени, функционально выражающие влияние рассматриваемых добавок на технологические свойства ГШС. Представлены результаты корреляционного и регрессионного анализа. Исследовано влияния функциональных добавок на продолжительность времени схватывания, раздвижку и расход при различных уровнях их дозировки. Анализируя значение коэффициента детерминации (R^2) можно отметить достаточно высокую зависимость функций отклика, происходящих при одновременном воздействии всех включенных в модель факторов. Так для начала схватывания и раздвижки (Y_1, Y_2) этот показатель равен 0,83; 0,91 соответственно, что указывает на высокую степень адекватности принятой модели.

Ключевые слова: план, многофакторный эксперимент, сухие строительные смеси, функциональные добавки, технологические свойства, коэффициент детерминации, регрессионный анализ, корреляционный анализ, штукатурные смеси, матрица, варьирование, исследование, порообразующие и водоудерживающие добавки, загуститель, замедлитель схватывания, факторы, коэффициент множественной корреляции, коэффициенты регрессии.

Введение

Увеличение требований к качеству и долговечности строительных конструкций на современном этапе развития строительства направляет отраслевую науку, проектировщиков, строителей и изготовителей строительных материалов на создание и использование новейших материалов. Так одним из основных направлений строительного производства на современном этапе развития считается разработка, производство и применение сухих строительных смесей (далее – ССС) с улучшенными эксплуатационными свойствами [7, 10, 13, 18]. Как известно для управления структурой и технологическими свойствами ССС, эксплуатируемых в различных условиях, рекомендуется научно обоснованная дозировка модифицирующих добавок различного функционального действия [8, 9, 12, 14, 15, 19]. В настоящее время различные аспекты влияния функциональных добавок на эксплуатационные свойства бетона и ССС достаточно глубоко проработаны и представлены в трудах Тейлора Х., Баженова Ю.М., Балыкова А.С., Батракова В.Г., Безбородова В.А., Ли Ф.М. и многих других. Однако научные аспекты влияния дозировки функциональных добавок на технологические свойства ГШС не достаточно глубоко изучены. В связи с чем исследование влияния дозировки функциональных добавок на технологические свойства штукатурных сухих строительных смесей является актуальной и важной задачей.

В настоящее время математическое моделирование является активным средством проведения научных исследований [1, 5]. Важнейшую роль в современной науке играют статистические методы математического моделирования, основанные на планировании эксперимента [1, 2]. Современные математические методы составляют неотъемлемую часть процесса обработки и интерпретации результатов исследований, которые позволяют оценить насколько существенны действия и взаимодействия исследуемых факторов, и установить коэффициенты уравнений регрессии, описывающих исследуемый процесс [3, 4, 5].

В настоящей статье представлено исследование влияния дозировки функциональных добавок на изменение технологических свойств гипсовой штукатурной смеси START. При проведении исследования, исходя из анализа литературных данных [6-16], за основу была принята следующая рабочая гипотеза: загуститель, замедлитель схватывания, порообразующие и водоудерживающие добавки, в основном, определяют технологические свойства ГШС START.

Методы и принципы исследования

Экспериментальные исследования основных технологических свойств гипсовой штукатурной смеси START проведены на базе испытательного центра ООО Черкесскстром «ЛИТОКС» г. Черкесска. Как известно, технологические свойства ГШС определяются, в основном, соотношением минеральных компонентов гипса, гашенной извести, известковой муки, песка и функциональных добавок. При проведении экспериментов, соотношение минеральных компонентов было выбрано исходя из рекомендаций завода-изготовителя и составило, %:

С целью исследования действия функциональных добавок на технологические свойства гипсовой штукатурной смеси START (начало схватывания, раздвижку, расход материала на 1м^2) был спланирован полный четырехфакторный эксперимент, имеющий 2 градации (4x2), план которого представлен в таблице 1. Планирование исследования позволяет значительно сократить объем исследования и дать объективную оценку полученному математическому описанию процесса [1,2].

Гипс	76
Гашеная известь	2,4
Известковая мука	8
Песок	25,36

Таблица 1
План эксперимента и результаты проведенных исследований влияния функциональных добавок на технологические свойства гипсовой штукатурной смеси

Факторы и функции отклика	Добавки				Регистрируемые параметры				
Номер опыта	Порооб.	Водо-уд.	Загусти тель	Замед схват.	Сроки схватывания				Расход на 1 м^2
Код: X_0	X_1	X_2	X_3	X_4	Y_1, Y_2				Y_3
Ед. изм.	%	%	%	%					
Верхний уровень	0,05	0,2	0,2	0,1	старт	начало	конец	разд. (мин)	кг/м^2
Нижний уровень	0,005	0,1	0,02	0,04					
1	0,005	0,1	0,02	0,04	16:15	17:45	18:20	35	9,92
2	0,05	0,1	0,02	0,04	13:50	16:15	17:20	65	9,95
3	0,05	0,2	0,02	0,04	14:25	17:00	17:50	50	8,9

4	0,05	0,2	0,2	0,04	15:05	17:55	19:05	70	9,4
5	0,05	0,2	0,2	0,1	15:10	19:55	22:55	180	9,3
6	0,005	0,2	0,2	0,1	16:00	19:40	22:00	140	9,5
7	0,005	0,1	0,2	0,1	14:50	17:50	19:30	100	8,3
8	0,005	0,1	0,02	0,1	15:30	19:30	21:00	90	9,3
9	0,005	0,2	0,2	0,04	15:15	17:35	18:30	55	11,1
10	0,005	0,2	0,02	0,04	14:00	16:00	16:30	30	8,5
11	0,005	0,2	0,02	0,1	14:50	18:40	20:15	95	11,9
12	0,05	0,2	0,02	0,1	15:40	22:00	00:00	120	10,7
13	0,05	0,1	0,02	0,1	16:15	21:00	22:45	105	11,5
13	0,05	0,1	0,2	0,1	10:55	17:00	19:15	135	9,32
15	0,05	0,1	0,2	0,04	12:05	14:55	16:15	80	9,89
16	0,005	0,1	0,2	0,04	12:55	15:30	16:20	50	9,48

Исходя из принятой теоретической гипотезы в качестве варьируемых факторов X_1, X_2, X_3, X_4 были приняты:

Фактор X_1 – дозировка поорообразующей добавки. Используется в штукатурных смесях для создания особой поровой структуры затвердевшего материала. Представляет собой поверхностно-активные вещества, которые уменьшают поверхностное натяжение воды, и тем самым улучшают обволакиваемость самых мелких частиц растворной смеси. Они минимизируют образование трещин, улучшают морозостойкость, технологичность. Центральная точка плана соответствует дозировке 0,0275%. Размах дозировок составил от 0,005 до 0,05%.

Фактор X_2 – дозировка водоудерживающей добавки. Представляет собой эфир целлюлозы и применяется с целью увеличения водоудержания, прилипаемости к основе, улучшения перемешивания, придания растворной смеси необходимой вязкости и пластичности. Центральная точка плана соответствует дозировке 0,15%. Размах дозировок составил от 0,1 до 0,2%.

Фактор X_3 – дозировка загустителя. В качестве загустителя используются простые эфиры крахмала. Реологические добавки, так называемые загустители, улучшают консистенцию растворной смеси, ее удобообрабатываемость и снижает липкость к инструменту. Центральная точка плана соответствует дозировке 0,11%. Размах дозировок составил от 0,02 до 0,2%.

Фактор X_4 – дозировка замедлителя схватывания. В качестве замедлителя схватывания используется винная кислота, для увеличения живучести растворной смеси. Центральная точка плана соответствует дозировке 0,07%. Размах дозировок составил от 0,04 до 0,1%.

Время жизни растворной смеси определяли в соответствии с ГОСТ-58276-2018 методом погружения конуса. Сущность метода заключается в определении глубины погружения в растворную смесь требуемой подвижности съемного конуса, установленного на приборе Вика. Расстояние между точками погружения конуса - не менее 12 мм. За время жизни растворной смеси принимали время от момента затворения сухой смеси водой до момента, когда конус погружается в смесь на глубину (22±2) мм. За итоговое значение технологических показателей для каждого сочетания факторов принимали среднеарифметическое значение результатов испытаний пяти проб.

В ходе проведения экспериментальных работ, для всех сочетаний исследуемых факторов, не выявлено признаков расслоения и растворотделения ГШС START. Полученные данные позволяют сделать вывод о высокой седиментационной устойчивости исследуемой смеси, обусловленной оптимальным соотношением компонентов, сбалансированными реологическими параметрами и эффективным взаимодействием вяжущего с минеральными наполнителями, что дало возможность вести математическую обработку результатов эксперимента по планируемым показателям.

При проведении настоящего исследования, в качестве показателей, оценивающих технологические свойства, были приняты следующие характеристики: Y_1 – начало схватывания; Y_2 – раздвижка; Y_3 – расход на 1 м^2.

Математическая обработка полученного массива экспериментальных данных была проведена при помощи пакета прикладных программ «STATISTIKA», «Пакет анализа» и «Поиск решения» в MS Excel. Результаты проведенного регрессионного и корреляционного анализа представлены в таблице 2. В результате обработки экспериментальных данных для каждого из параметров выхода была получена математическая модель в виде уравнений регрессии в форме полинома первой степени. Проверка значимости коэффициентов регрессии осуществлялась по критерию Стьюдента, проверка адекватности полученных уравнений – по критерию Фишера [4. 5].

Полученные функции отклика, для рассматриваемой модели, имеют следующий вид:

Начало схватывания

$$Y_1 = -4,028+1611,111*X_1+87,500*X_2+27,778*X_3+2166,667*X_4 \quad (1)$$

Раздвижка

$$Y_2 = -37,639+583,333*X_1+100,000*X_2+152,778*X_3+1104,167*X_4 \quad (2)$$

Расход материала на 1м^2

$$Y_3 = 9,37292+2,66667*X_1+2,05000*X_2-3,04167*X_3+5,58333*X_4 \quad (3)$$

Заключение

Проанализировав полученные результаты эксперимента (таблица 1) можно отметить, что время жизни растворной смеси ГШС START (начало схватывания, раздвижка) варьирует в значительном диапазоне в зависимости от дозировки рассматриваемых добавок. Так, минимальное значение начала схватывания (Y_1=90мин.) соответствует рецептуре, когда дозировка всех варьируемых факторов находится на нижнем уровне (X_1=0,005%, X_2=0,1%, X_3=0,02%, X_4=0,04%), а максимальное значение начала схватывания (Y_1=380мин.) соответствует рецептуре, когда дозировка порообразующих, водоудерживающих добавок и загустителя соответствует верхнему уровню (X_1=0,05%, X_2=0,2%, X_3=0,2%), а замедлителя схватывания нижнему уровню (X_4=0,04%). Увеличение времени начала схватывания составило 322%.

Таблица 2

Основные статистические показатели корреляционного и регрессионного анализа

Наименование показателя	Значение		
	Начало схватывания, Y_1, мин	Раздвижка, Y_2, мин	Расход, Y_3, кг/м^2
Коэффициент множественной корреляции	0,91	0,96	0,35
Коэффициент детерминации (R^2)	0,83	0,91	0,12
Скорректированный коэффициент детерминации (R^2)	0,77	0,88	-0,2
Стандартизированные коэффициенты регрессии Beta (b*):			
b*(x_1)	0,442671	0,325905	0,06061
b*(x_2)	0,053426	0,124154	0,10355
b*(x_3)	0,030529	0,341424	-0,2765
b*(x_4)	0,793754	0,822521	0,16922
Стандартная ошибка оценки	40,746	14,182	1,12
Коэффициенты регрессии:			
A			
B1	-4,028	-37,639	9,37292
B2	1611,111	583,333	2,66667
B3	87,500	100,000	2,05000
B4	27,778	152,778	-3,04167
	2166,667	1104,167	5,58333
p-value			
A			
X1	0,928275	0,030975	0,000008
X2	0,004484	0,003491	0,834269
X3	0,675858	0,186122	0,721295
X4	0,810647	0,002572	0,349315
	0,000052	0,000001	0,561870
t (11)			
A			
X1	-0,09209	-2,47266	7,795853
X2	3,558641	3,70181	0,214253
X3	0,429491	1,41021	0,366016
X4	0,245424	3,87809	-0,97753
	6,381012	9,34266	0,598124
F(4,11)	13,406	29,504	0,373

Минимальное значение раздвижки (Y_2=35мин.) также соответствует рецептуре с минимальным содержанием всех рассматриваемых добавок (X_1=0,005%, X_2=0,1%, X_3=0,02%, X_4=0,04%), а максимальное значение (Y_2=35мин.) соответствует рецептуре с максимальным содержанием всех рассматриваемых добавок (X_1=0,05%, X_2=0,2%, X_3=0,2%, X_4=0,1%). Увеличение времени раздвижки составило 414%.

Как известно [4], поиск мультиколлинеарных факторов регрессионного анализа основывается на значениях стандартизированных коэффициентов регрессии (Beta (b*)), которые представляют собой относительную силу влияния независимых факторов на отклик. Из таблицы 2 видно, что, для всех исследуемых параметров (Y_1, Y_2, Y_3,), значения стандартизированных коэффициентов регрессии (Beta (b*)), только один фактор (X_4 – дозировка замедлителя схватывания) имеет ярко выраженное максимальное значение (0,79; 0,82; 0,17 соответственно), что свидетельствует о наиболее значительном влиянии изменения дозировки замедлителя схватывания на варьирование исследуемых параметров [4].

Проведенный корреляционный и регрессионный анализ показал, что между исследуемыми факторами отсутствует линейная взаимосвязь, так как практически для всех исследуемых параметров установлено, что наличие двух мульти коллинеарных факторов отсутствует.

Анализируя значение коэффициента детерминации (R^2) можно отметить достаточно высокую зависимость функций отклика, происходящих при одновременном воздействии всех включенных в модель факторов [4]. Так для начала схватывания и раздвижки (Y_1, Y_2) этот показатель равен 0,83; 0,91 соответственно, что указывает на высокую степень адекватности принятой модели.

Однако для модели расхода материала на 1 м^2 (Y_3) этот показатель находится на достаточно низком уровне 0,12, что свидетельствует о незначительном влиянии исследуемых факторов на изменчивость расхода материала.

Сопоставив значения коэффициентов регрессии технологических свойств можно отметить различное влияние предикторов на критериальные параметры [4, 5]. Так на:

– начало схватывания наибольшее влияние оказывает замедлитель схватывания (B_4=2166,667), а наименьшее влияние оказывает загуститель (B_3=27,778);

– раздвижку наибольшее влияние оказывает замедлитель схватывания (B_4=1104,167), а наименьшее влияние оказывает водоудерживающая добавка (B_2=100);

– расход материала на 1 м^2 наибольшее влияние оказывает замедлитель схватывания (B_4=5,58333), а наименьшее влияние оказывает порообразователь (B_1=2,66667).

Кроме того, увеличение дозировки загустителя приводит к снижению расхода материала на 1 м^2, так как значения коэффициентов регрессии B_3 имеет отрицательное значение и равно -3,04157.

Для установления факторов математической модели, оказывающих незначительное влияние на отклик, оценивали значение показателей значимости влияния исследуемых факторов (p-value). Как известно, чем ниже значение p-value, тем выше ожидаемая значимость результата. Так влияние факторов, с показателями p-value больше 0,05 можно признать незначительным для принятой математической модели [4]. Из таблицы 2 видно, что начало схватывания Y_1 определяется в основном дозировкой порообразователя X_1 и замедлителя схватывания X_4 (p-value 0,004484, 0,000052 соответственно); раздвижка Y_2 определяется в основном дозировкой порообразователя X_1, загустителя X_3 и замедлителя схватывания X_4 (p-value 0,003491, 0,002572, 0,000001 соответственно); расход на 1 м^2 Y_3 определяется в основном дозировкой замедлителя схватывания X_4. Таким образом можно сделать вывод, что на технологические свойства гипсовой штукатурной смеси START наибольшее влияние оказывает замедлитель схватывания.

Значение F-статистики (таблица 2) при числе степеней свободы k=4 для начала схватывания Y_1 и раздвижки Y_2 составляет 13,406 и 29,504 соответственно, и является убедительным свидетельством того, что данная модель имеет высокую степень статистической значимости. То есть, исследуемые факторы оказывают существенное влияние на отклик, и модель пригодна для дальнейшего анализа и интерпретации этих параметров. Однако низкое значение F-статистики ($F(4,11)$=0,373) для расхода материала Y_3 свидетельствует о неадекватности рассматриваемой модели и нецелесообразности ее дальнейшего использования при анализе влияния рассматриваемых факторов. Кроме того, анализ показателей значения t-статистики (для 5% уровня значимости) показывает, что начало схватывания определяется в основном изменением дозировок порообразующих и водоудерживающих добавок, а время жизни растворной смеси варьированием порообразующих добавок, загустителя и замедлителя схватывания.

Литература

1. Сидняев Н. И. Статистический анализ и теория планирования эксперимента : учебное пособие - Москва : Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017. - 195 с.
2. Джонсон Н., Лион Ф. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке. Москва, 1981.
3. Минько А.А. Статистический анализ в MS Excel. - М.: Изд. дом «Вильямс», 2004. – 448 с.
4. Ферстер Э., Ренц Б. Методы корреляционного и регрессионного анализа. – М.: Финансы и статистика, 1983.
5. Дубров А. М., Мхитарян В.С., Трошин Л. И. Многомерные статистические методы. – М.: Финансы и статистика, 2000.
6. Тейлор Х. Химия цемента – М.: Мир, 1996. 560 с.
7. Корнеев В.И. Зозуля П.В. Сухие строительные смеси (состав и свойства): учеб. пособие / В.И. Корнеев, П.В. Зозуля. М.: РИФ «СТРОЙМАТЕРИАЛЫ», 2010 - 320 с.
8. Кидакоев М.М., Крымова В.Г., Кидакоева М.М. Исследование влияния загустителя и замедлителя схватывания на строительно-технологические свойства сухих строительных смесей // Международный научно-исследовательский журнал. 2020. №6 (96) - С. 69-74.
9. Байрамуков С.Х., Долаева З.Н., Кидакоева М.М., Факторный анализ влияния добавок на технологические свойства сухих строительных смесей // Инженерный вестник Дона. – 2024.- №1 - URL:ivdon.ru/ru/magazine/archive/nly2024/8938.
10. Алимов, Л.А. Строительные материалы: Учебник / Л.А. Алимов. - М.: Academia, 2018. - 317 с.
11. Хуторской, С.В. Новые свойства строительных материалов / С.В. Хуторской, Д.Н. Петряков // Эксперт года 2019. Сборник статей Международного научно-исследовательского конкурса. – Петрозаводск: МЦНП «Новая Наука», 2019. С. 40-43.
12. Низина Т. А., Балыков А. С. Экспериментально-статистические модели свойств модифицированных дисперсно-армированных мелкозернистых бетонов // Magazine of Civil Engineering. 2016. №2 (62). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/eksperimentalno-statisticheskie-modeli-svoystv-modifitsirovannyh-dispersno-armirovannyh-melkozernistyh-betonov (дата обращения: 22.06.2026).
13. Баженов, Ю. М. Технология сухих строительных смесей / Ю.М. Баженов, В.Ф. Коровяков, Г.А. Денисов // Издательство Ассоциации строительных вузов. Москва, 2011. - 112 с.
14. Румянцева В. Е., Панченко Д. А., Панченко Ю. Ф. Разработка состава сухой штукатурной смеси на основе извести // Архитектура, строительство, транспорт. 2022. № 2. С. 39–46. DOI: 10.31660/2782-232X-2022- 2-39-46.
15. Адилходжаев А. И., Махаматалиев И. М., Цой В. М., Шаумаров С. С. Научно-обоснованная методика подбора добавок при проектировании состава комплексно-модифицированных бетонов // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2019. №2. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/nauchno-obosnovannaya-metodika-podbora-dobavok-pri-proektirovanii-sostava-kompleksno-modifitsirovannyh-betonov (дата обращения: 22.06.2026).
16. Альжанова А.Ж., Зайнутдинов А.К., Сарсенбаев Б.К. Влияние составов сухих строительных смесей на технические свойства строительных материалов // Управление инновациями: теория, методология, практика. 2016. № 18. С. 56–59.
17. Федосов С.В., Румянцева В.Е., Чеснокова Т.В., Логинова С.А. Принципы математического моделирования при бактериальной коррозии цементного камня // Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования РААСН по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2017 году : Сборник научных трудов Российской академии архитектуры и строительных наук. – Москва : Издательство АСВ, 2018. С. 487–491. DOI: 10.22337/9785432302663-487-491.
18. Загороднюк Л. Х., Гридчин А. М., Лесовик В. С., Володченко А. А. К., Воронов В. В., Канева Е. В. Тенденции развития производства сухих строительных смесей в России // Вестник БГТУ имени В. Г. Шухова. 2016. №12. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/tendentsii-razvitiya-proizvodstva-suhih-stroitelnyh-smesey-v-rossii (дата обращения: 22.06.2026).
19. Кузьмина В.П. Механизмы воздействия эфиров целлюлозы на свойства строительных материалов / В.П. Кузьмина // Сухие строительные смеси. 2018. №1. С. 33-40.

Research of the technological properties of plaster mixtures by mathematical modeling

Kidakoev M.M., Kidakoev A.M., Kidakoev B.M., Kidakoeva M.M.

North Caucasus State Academy, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Karachay-Cherkess Republic

JEL classification: L61, L74, R53

A study was conducted to investigate the effect of functional additives on the technological properties of gypsum plaster mixture (hereinafter referred to as GPM). To examine the impact of functional additives on the technological properties of GPM, a full four-factor experiment with two levels (4×2) was designed. Statistical methods for mathematical modelling of the technological properties of GPM are presented. Linear regression equations in the form of a first-degree polynomial were obtained; these equations functionally express the influence of the considered additives on the technological properties of GPM. The results of correlation and regression analyses are presented. The effect of functional additives on setting time, spreadability, and consumption was investigated at various dosage levels. By analysing the value of the coefficient of determination (R^2), a fairly high dependence of the response functions occurring under the simultaneous influence of all factors included in the model can be noted. Thus, for the initial setting time and spreadability (Y_1, Y_2), this indicator equals 0.83 and 0.91, respectively, which indicates a high degree of adequacy of the adopted model.

Keywords: plan, multifactorial experiment, dry building mixes, functional additives, technological properties, coefficient of determination, regression analysis, correlation analysis, plaster mixes, matrix, variation, research, pore-forming and water-retaining additives, thickener, setting retarder, factors, multiple correlation coefficient, regression coefficients.

References

1. Sidnyaev N. I. Statistical Analysis and Theory of Experimental Design: a textbook - Moscow: Publishing House of Bauman Moscow State Technical University, 2017. - 195 p.
2. Johnson N., Lyon F. Statistics and Experimental Design in Engineering and Science. Moscow, 1981.
3. Min'ko A. A. Statistical Analysis in MS Excel. - Moscow: Williams Publishing House, 2004. - 448 p.
4. Foerster E., Renz B. Methods of Correlation and Regression Analysis. - Moscow: Finance and Statistics, 1983.
5. Dubrov A. M., Mkhitaryan V. S., Troshin L. I. Multivariate Statistical Methods. – M.: Finance and Statistics, 2000.
6. Taylor H. Cement Chemistry – M.: Mir, 1996. 560 p.
7. Korneev V.I. Zozulya P.V. Dry building mixes (composition and properties): textbook. manual / V.I. Korneev, P.V. Zozulya. M.: RIF "STROYMATERIALY", 2010 - 320 p.
8. Kidakoev M.M., Krymova V.G., Kidakoeva M.M. Study of the influence of thickener and setting retarder on the construction and technological properties of dry building mixes // International Research Journal. 2020. No. 6 (96) - pp. 69-74.
9. Bairamukov S.Kh., Dolaeva Z.N., Kidakoeva M.M., Factor analysis of the influence of additives on the technological properties of dry building mixes // Engineering Bulletin of the Don. - 2024.- №. 1 - URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/nly2024/8938.
10. Alimov, L.A. Construction materials: Textbook / L.A. Alimov. - Moscow: Academia, 2018. - 317 p.