СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА
BUILDING AND ARCHITECTURE

УДК 691.53
DOI: 10.21822/2073-6185-2024-51-4-201- 208
CC BY 4.0
Оригинальная статья /Original article

Комплексное модифицирование бетонных композитов

С-А.Ю. Муртазаев[1,2], М.Ш. Саламанова[1,2]
[1]Грозненский государственный нефтяной технический университет
имени академика М.Д. Миллионщикова,
[1]364051, г. Грозный, пр. Исаева,100, Россия,
[2]Комплексный научно-исследовательский институт имени Х.И. Ибрагимова
Российской академии наук,
[2]364051, г. Грозный, В.Алиева (Старопромысловское шоссе), 21а, Россия

Резюме. Цель. Целью исследования является комплексное изучение механизма протекания химических взаимодействий с последующим формированием новообразований в структуре бетонного камня; нераскрытые возможности модификации матричной системы органическими и минеральными добавками; разработки наполненных высокоактивных вяжущих материалов; применение обогащенных заполнителей повышенного качества; сочетание бетона, арматуры и дисперсного армирования и др. технологических приемов, способствующих эволюции развития современного бетоноведения. **Метод.** Исследования проводились согласно нормативным документам ГОСТ 12730.3–2020 Бетоны. Методы определения водопоглощения; ГОСТ 10180-2012 Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам; ГОСТ 12730.1-78 Бетоны. Методы определения плотности. **Результат.** Исследовалось комплексное использование органических и минеральных добавок, что способствовало ускоренному формированию структуры и прочности камня без применения теплового воздействия. Зафиксировано улучшение реотехнологических характеристик, установлен водоредуцирующий эффект, увеличение сохраняемости бетонной смеси, что не мало важно при бетонировании крупногабаритных конструкций, или транспортировке полуфабриката на дальние расстояния. **Вывод**. Предлагаемые результаты исследований позволят с успехом реализовывать проекты мирового значения, создавая устойчивые, прочные и долговечные бетонные конструкции.

Ключевые слова: минеральные порошки, суперпластификатор, бетонный лом, опока, микрокремнезем, вулканический пепел, заполнитель, структура, прочность

Для цитирования: С-А.Ю. Муртазаев, М.Ш. Саламанова. Комплексное модифицирование бетонных композитов. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2024; 51(4): 201-208. DOI:10.21822/2073-6185-2024-51-4-201-208

Complex modification of concrete composites

S-A.Yu. Murtazaev[1,2], M.Sh. Salamanova[1,2]
[1]M.D. Millionshchikov Grozny State Oil Technical University,
[1]100 KH. Isaev Ave., Grozny 364051, Russia,
[2]Kh. Ibragimov Complex Institute of the Russian Academy of Sciences,
[2]21a V. Aliyeva (Staropromyslovskoe) highway, Grozny 364051, Russia

Abstract. Objective. The aim of the study is to study the mechanism of chemical interactions with subsequent formation of new formations in the structure of concrete stone; undisclosed possibilities of modifying the matrix system with organic and mineral additives; development of filled highly active binders; use of enriched fillers of high quality; a combination of concrete, reinforcement and dispersed reinforcement, contributing to the evolution of the development of modern concrete science. **Method.** Research is carried out in accordance with regulatory documents GOST 12730.3–2020 Concrete. Methods for determining water absorption;

GOST 10180-2012 Concrete. Methods for determining hardness using control samples; GOST 12730.1-78 Concrete. Methods for determining definition. **Result.** The complex use of organic and mineral additives was studied, which contributed to the accelerated formation of the structure and strength of the stone without the use of heat. An improvement in rheotechnological characteristics has been recorded, a water-reducing effect has been established, and an increase in the shelf life of the concrete mixture has been established, which is no less important when concreting large-sized structures or transporting semi-finished products over long distances. **Conclusion**. The proposed research results will make it possible to successfully implement projects of global importance, creating stable, strong and durable concrete structures.

Key words: mineral powders, superplasticizer, concrete scrap, flask, microsilica, volcanic ash, filler, structure, strength

For citation: S-A.Yu. Murtazaev, M.Sh. Salamanova. Complex modification of concrete composites. Herald of the Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2024;51(4): 201-208. DOI:10.21822 /2073-6185-2024-51-4-201-208

Введение. В настоящее время современные технологии бетона претерпели радикальные изменения и сделали этот материал одним из самых востребованных и незаменимых в строительстве. Предпосылками создания новых композитов послужили более глубокие исследования механизма протекания химических взаимодействий с последующим формированием новообразований в структуре бетонного камня; нераскрытые возможности модификации матричной системы органическими и минеральными добавками; разработки наполненных высокоактивных вяжущих материалов; применение обогащенных заполнителей повышенного качества; сочетание бетона, арматуры и дисперсного армирования и др. технологических приемов [1–4]. Правильный выбор рецептур бетонных композиций играет ключевую роль в успешной реализации проектов мирового значения, являясь гарантом прочности, долговечности и устойчивости конструкций. В зависимости от конкретной задачи, необходимо моделировать составы и технологию бетона определенного класса, обладающего определенными свойствами и особенностями формования в конструкции.

Постановка задачи. Для возведения жестких каркасов высотных зданий и сооружений, мостов и др. ответственных участков проектируют High-Strength Concrete (высокопрочный бетон) с прочностью до 150 МПа; Ultra High-Strength Concrete (сверхпрочный бетон) с прочностью выше 150 МПа находит применение при строительстве ответственных конструктивных элементов объектов; непроницаемые и плотные бетоны W12 и выше нашли свое признание при строительстве подземных частей зданий и сооружений, тоннелей; монолитные массивных размеров конструкции делают из бетона Shrinkage Compensated Concrete, во избежание деформативных нарушений; бетонирование густоармированных сложной конфигурации конструкций успешно проводят используя самоуплотняющиеся бетоны – Self-Compacting Concrete, что позволяет отказаться от уплотнения; ограждающие конструкции и мелкоштучные элементы можно изготовлять – Reactive Powder Concrete (порошковые бетоны) и Macro Defect-Free Concrete (мелкозернистые бетоны без дефектов), для которых характерна минимальная пористость до 1 % и достаточно высокая прочность в пределах 150 – 250 МПа. Перечисленные бетоны нового поколения демонстрируют сильные стороны инновационного материала, и являются предметом обсуждения практически на многих научных площадках мирового масштаба.

Моделируя рецептуры многокомпонентных бетонов, введением в систему модификаторов различной природы, можно управлять структурообразованием, начиная с процессов диспергирования твердой фазы в воде до формирования прочного кристаллического тела в итоге. Проблемы экологического порядка, связанные с декарбонизацией экономики, и в частности, строительного сектора, наталкивают на расширение номенклатуры вяжущих материалов за счет частичного использования техногенных отходов взамен доро-

гой и ресурсоемкой клинкерной составляющей. Применяя в качестве заполнителя рециркулированный продукт, полученный при переработке фрагментов разрушенных бетонных зданий и сооружений, возможно решать вопросы растущего дефицита природного исчерпаемого сырья [5–8].

Таким образом, все перечисленные технологические подходы для получения качественных многокомпонентных бетонов позволят воплощать в жизнь новые архитектурные решения, требующие реализации всех нераскрытых резервов этого уникального материала. С целью получения бетонов линейки классов В25-В40 разрабатывались составы вяжущих веществ и композитов, с использованием минеральных добавок из бетонного лома, микрокремнезема, вулканического пепла, опоки. Были рассмотрены попытки применения рециркулированного крупного заполнителя от разборки разрушенных зданий для получения класса бетона В25. Ну и конечно же в комплексе с минеральными добавками с водой затворения в смесь вводились водорастворимые органические вещества, что позволило управлять реотехнологическими свойствами, коллоидными, физическими и химическими явлениями, модифицируя структуру на микро- и макроуровнях [9–11].

Методы исследования. Согласно терминологии, ГОСТ 31108 – 2020 Цементы общестроительные. Технические условия, минеральные добавки, применяемые в исследованиях можно отнести к группе пуццолановых, так как в присутствии CaO указанные порошки будут проявлять гидравлическую активность, к тому же не оказывают негативного влияния на водопотребность цементного теста и прочностные характеристики. Куски горной породы осадочного происхождения – опоки, предварительно пропускали через щековую дробилку, для последующего тонкого измельчения в мелющем агрегате. Минеральные добавки (растворная часть бетонного лома, вулканический пепел и опока) готовились измельчением в лабораторной роликовой мельнице МЛР-15 в течение 10 минут. Удельная поверхность полученных порошков определялась на приборе ПСХ-12 и составила следующие числовые показатели: $S_{уд}$ бетонного лома 571 м^2/кг; $S_{уд}$ вулканического пепла 542 м^2/кг; $S_{уд}$ опоки 592 м^2/кг. Добавка микрокремнезема в естественном виде обладает высокой удельной поверхностью и составляла 21000 м^2/кг. Основным носителем вяжущих свойств является портландцемент марки ЦЕМ I 42,5Н, завод производитель АО «Чеченцемент», на момент испытаний активность цемента, определенная с помощью индикатора активности ИАЦ-04М составила 48,4 МПа.

В качестве мелкого и крупного заполнителей использовался инертный материал Алагирского карьера из гранитно-диабазовых пород. Кварцевый песок имеет стабильный гранулометрический состав относится к классу крупных, модуль крупности составил 2,9, содержание ПГИ – 0,82 %, насыпная плотность – 1470 кг/м^3. Щебень фр. 5–20 мм соответствует требованиям ГОСТ8267–93 Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия, марка по дробимости М1000, содержание ПГИ – 0,61 %, морозостойкость F 300, насыпная плотность 1480 кг/м^3. Для получения бетонов класса В25 использовался рециркулированный крупный заполнитель фр. 5–20 мм, имеющий примерно 10–15 % доли растворной части, что только усилит контактную прочность в зоне «вяжущее – рециркулированный щебень» и положительно отразится на прочности бетона в общем. Особое внимание в работе уделялось органической составляющей, в подборах рецептур бетона исследовались различные современные модификаторы, как отечественного, так и импортного производителя, доступные и примерно одной стоимости. Исследуемые химические добавки обладают суперводоредуцирующим эффектом, комплексным составом на основе поликарбоксилатов и лигносульфонатов, за счет снижения водоцементного отношения, увеличивают прочность на 20 – 25 %. Дозировка суперпластификатора выбиралась с учетом рекомендаций производителя и изменялась в пределах от 0,1 – 1,8 % от массы цемента. В качестве органического модификатора были исследованы следующие добавки: RHEOPLAST LS 01 (ООО «Реопласт», г. Всеволожск), Stark EW (Starkhaus, Германия), уплотняющая добавка МегаХимТрейд (ООО «МегаХимТрейд»,

г. Тула), Криопласт (ООО Полипласт, г. Новомосковск), Stark PM (Starkhaus, Германия), ТЕХНОНИКОЛЬ ICE 611 и ТЕХНОНИКОЛЬ READY-MIX 111 (корпорация ТЕХНОНИКОЛЬ).

Обсуждение результатов. С использованием выше перечисленных сырьевых материалов было проведено большое количество экспериментальных замесов бетонных смесей и изготовлены и испытаны образцы, в результате чего установлены оптимальные дозировки для всех исследуемых добавок. Составы проектируемых бетонов и результаты испытаний приводятся в таблицах 1, 2.

Таблица 1. Составы модифицированных бетонов
Table 1. Compositions of modified concretes

составы	СП и дозировка	В/Ц	Расход, кг на 1 м³ бетона								
			Ц	В	Щ	П	БЛ	МК	ВП	ОП	Д
Бетон класса В25 (М350) ЦЕМ I 42,5Н/ Concrete class B25 (M350) CEM I 42.5N											
1	RHEOPLAST LS 01 (0,9%)	0,52	340	176	1070	830	30	11	-	-	3,0
2	Stark EW (0,9%)	0,52	340	176	1070	830	30	11	-	-	3,0
3	МегаХимТрейд (1,0%)	0,52	340	176	1070	830	30	11	-	-	3,4
4	Криопласт (0,9%)	0,52	340	176	1070	830	30	11	-	-	3,0
5	Stark PM (0,9%)	0,52	340	176	1070	830	30	11	-	-	3,0
6	ТехноНИКОЛЬ ICE 611 (1,0%)	0,52	340	176	1070	830	30	11	-	-	3,4
7	ТехноНИКОЛЬ READY-MIX 111 (1,0%)	0,52	340	176	1070	830	30	11	-	-	3,4
Бетон класса В35 (М450) ЦЕМ I 42,5Н/ Concrete class B35 (M450) CEM I 42.5N											
8	RHEOPLAST LS 01 (1,1%)	0,34	410	140	1100	745	-	-	25	25	4,5
9	Stark EW (1,1%)	0,34	410	140	1100	745	-	-	25	25	4,5
10	МегаХимТрейд (1,1%)	0,34	410	140	1100	745	-	-	25	25	4,5
11	Криопласт (1,1%)	0,34	410	140	1100	745	-	-	25	25	4,5
12	Stark PM (1,1%)	0,34	410	140	1100	745	-	-	25	25	4,5
13	ТехноНИКОЛЬ ICE 611 (1,1%)	0,34	410	140	1100	745	-	-	25	25	4,5
14	ТехноНИКОЛЬ READY-MIX 111 (1,1%)	0,34	410	140	1100	745	-	-	25	25	4,5
Бетон класса В40 ЦЕМ I 42,5Н/ Concrete class B40 CEM I 42.5N											
15	RHEOPLAST LS 01 (1,1%)	0,32	460	148	980	750	-	10	30	-	5,0
16	Stark EW (1,1%)	0,32	460	148	980	750	-	10	30	-	5,0
17	МегаХимТрейд (1,1%)	0,32	460	148	980	750	-	10	30	-	5,0
18	Криопласт (1,1%)	0,32	460	148	980	750	-	10	30	-	5,0
19	Stark PM (1,1%)	0,32	460	148	980	750	-	10	30	-	5,0
20	ТехноНИКОЛЬ ICE 611 (1,1%)	0,32	460	148	980	750	-	10	30	-	5,0
21	ТехноНИКОЛЬ READY-MIX 111 (1,1%)	0,32	460	148	980	750	-	10	30	-	5,0

Примечание: Ц – цемент; В – вода; Щ – щебень; П – песок; Д – добавка; БЛ – наполнитель из бетонного-лома; М – микрокремнезем; ОП – опока; ВП – вулканический пепел; $R_{СЖ}$ – прочность на сжатие; РК – расплыв конуса; $\rho_Б$ – плотность бетона.

Note: C – cement; W – water; Щ – crushed stone; P – sand; D – additive; BL – concrete scrap filler; M – microsilica; OP – opoka; VP – volcanic ash; RCЖ – compressive strength; РК – cone spread; ρБ – concrete density.

Таблица 2. Свойства модифицированных бетонов
Table 2. Properties of modified concrete

составы	СП и дозировка	$\rho_б$, кг/м^3	Rсж в возрасте, сут., МПа		Водопоглощение, %	РК, см
			7	28		
Бетон класса В25 (М350) ЦЕМ I 42,5Н/ Concrete class B25 (M350) CEM I 42.5N						
1	RHEOPLAST LS 01 (0,9%)	2326	31,8	42,8	6,4	65
2	Stark EW (0,9%)	2340	34,5	45,2	6,1	67
3	МегаХимТрейд (1,0%)	2371	34,3	43,8	6,3	66
4	Криопласт (0,9%)	2372	36,2	46,8	5,9	68
5	Stark PM (0,9%)	2337	29,5	41,1	6,6	64
6	ТехноНИКОЛЬ ICE 611 (1,0%)	2308	29,1	41,4	6,6	64
7	ТехноНИКОЛЬ READY-MIX 111 (1,0%)	2331	35,9	46,9	6,0	67
Бетон класса В35 (М450) ЦЕМ I 42,5Н /Concrete class B35 (M450) CEM I 42.5N						
8	RHEOPLAST LS 01 (1,1%)	2330	42,3	46,9	6,3	72
9	Stark EW (1,1%)	2342	44,6	49,2	6,0	73
10	МегаХимТрейд (1,1%)	2373	44,1	47,8	6,2	74
11	Криопласт (1,1%)	2378	48,5	52,9	5,7	75
12	Stark PM (1,1%)	2338	39,6	46,0	6,5	70
13	ТехноНИКОЛЬ ICE 611 (1,1%)	2310	38,4	45,9	6,5	69
14	ТехноНИКОЛЬ READY-MIX 111 (1,1%)	2339	47,5	51,2	5,8	75
Бетон класса В40 ЦЕМ I 42,5Н / Concrete class B40 CEM I 42.5N						
15	RHEOPLAST LS 01 (1,1%)	2332	52,9	54,0	6,2	73
16	Stark EW (1,1%)	2344	53,8	55,0	5,8	74
17	МегаХимТрейд (1,1%)	2376	53,2	54,9	6,1	74
18	Криопласт (1,1%)	2380	55,3	61,2	5,2	75
19	Stark PM (1,1%)	2340	48,0	51,2	6,4	71
20	ТехноНИКОЛЬ ICE 611 (1,1%)	2320	46,5	51,0	6,4	70
21	ТехноНИКОЛЬ READY-MIX 111 (1,1%)	2341	54,2	58,6	56	75

В составах 1 – 7 использовался рециркулированный крупный заполнитель фр. 5–20 мм, минеральный наполнитель из бетонного лома и добавка микрокремнезема.

В составах 8–21 использовался качественный щебень из гранитно-диабазовых магматических пород фракции 5 –20 мм. Модификация цементного камня минеральными и органическими добавками благоприятно отразилась на реотехнологических свойствах бетонной смеси и прочностных показателях бетонных образцов. Минеральные порошки из бетонного лома, опоки, вулканического пепла и микрокремнезема позволили снизить расход портландцемента.

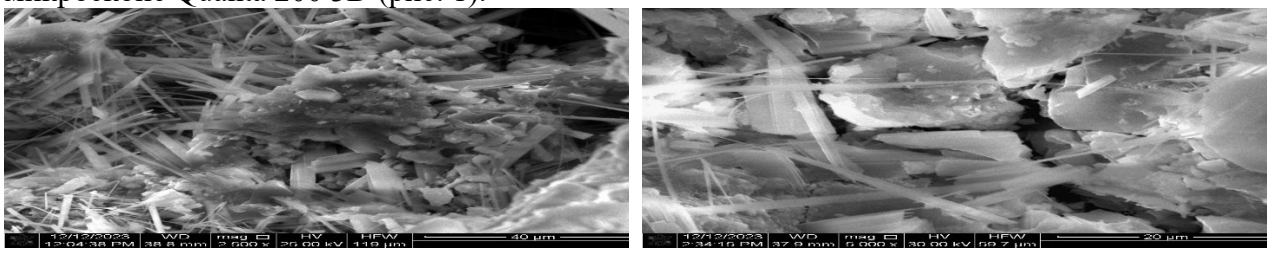
По полученным результатам наиболее выгодной комбинацией бинарных порошков является «вулканический пепел – микрокремнезем», добавки являются продуктом тепловой обработки, как естественных, так и искусственных. Минералогия и дисперсность частиц этих добавок способствовала достижению с запасом проектной прочности, снижению пористости и улучшению реологии смеси. Добавки Криопласт и ТехноНИКОЛЬ READY-MIX 111 в дозировке 1,1 % от массы цемента в пересчете на сухое вещество, создают в среде эффект дефлокуляции, повышают поверхность контакта зерен цемента с водой затворения, что положительно отразилось на росте числа новообразований. Чис-

ловые значения предела прочности на сжатие образцов бетона в 7 суточном возрасте этому подтверждение, наблюдается прирост прочностных показателей 104 – 106% от марочной.

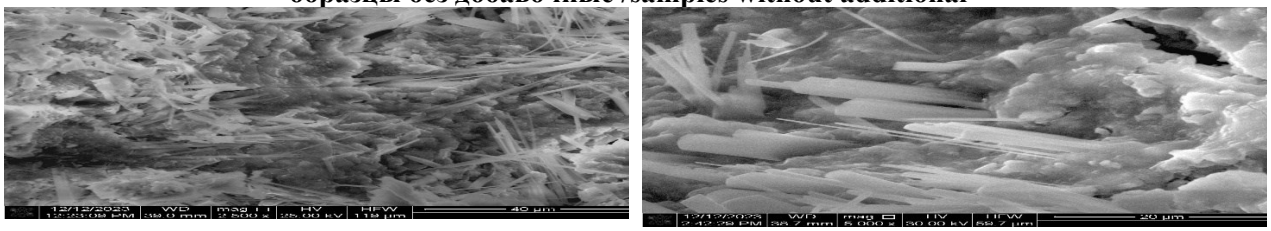
Использование органоминеральных добавок способствовало ускоренному формированию структуры и прочности камня без применения теплового воздействия.

Все исследуемые суперпластификаторы проявляют в комплексе электростатический и стерический механизм действия, молекулы эфира поликарбоксилата адсорбируются на активных центрах кристаллизации цемента и минерального порошка, снижают внутреннее трение, поверхностное натяжение между твердой и жидкой фазой, интенсифицируют диспергацию частиц. Необходимо отметить, что помимо водоредуцирующего эффекта присутствовала сохраняемость бетонной смеси, что не мало важно при бетонировании крупногабаритных конструкций, или транспортировке полуфабриката на дальние расстояния.

Разработанные составы бетонов классов В25, В35 и В40 практически все соответствуют заявленной прочности. Для более глубокого анализа влияния комплексной модификации цементного камня, образцы бетона состава №11 с использованием вяжущей связки «портландцемент – вулканический пепел – опока» и добавки Криопласт (1,1 % от массы цемента) на 7 сутки твердения исследовались на растровом электронном микроскопе Quanta 200 3D (рис. 1).



образцы без добавочные /samples without additional



Образцы, модифицированные органоминеральными добавками/ samples modified with organomineral additives

Рис. 1. Микрофотографии исследуемых образцов, увелич. 2500, 5000 крат
Fig.1. Microphotographs of the studied samples, magnified. 2500, 5000 times

Сравнивая микрофотографии образцов 7 суточного возраста твердения без добавочных и с органоминеральной добавкой можно наблюдать заметное уплотнение структуры цементного камня, и это происходит за счет дополнительного источника преобразований, взаимодействие гексагональных кристаллов портландита с аморфной составляющей тонкодисперсного порошка, влечет к формированию трубчатых и игольчатых гидратных образований. Комплексная модификация матрицы цементного камня приводит к повышению прочностных показателей бетона, и это благодаря усиленному синтезу гидратных соединений силикатов, алюминатов, сульфоалюминатов и алюмоферритов кальция в теле бетонного композита [13–16].

Вывод. Современные преобразования, предусматривающие количественное и качественное расширение компонентов состава бетона: цемент, несколько видов минеральных порошков, органические добавки, качественные заполнители и эффективные технологические приемы приготовления смесей, открывают новые возможности в бетоноведении, и это без увеличения расхода энергоемкого портландцемента, наоборот использование пуццолановых добавок позволит развивать природоохранные технологии и управлять свойствами композитов в нужном направлении [17–19]. Использование многокомпонентных формовочных смесей, с повышенным содержанием аморфной составляющей и химического модификатора, снижает расход воды затворе-

ния, способствует сложным химическим преобразованиям с формированием плотной и непроницаемой структуры, интенсивному набору прочности бетонов и многих важных показателей. Предлагаемые в работе результаты исследований позволят с успехом реализовывать проекты мирового значения, создавая устойчивые, прочные и долговечные бетонные конструкции.

Благодарности. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-69-00043, https://rscf.ru/project/24-69-00043/

Acknowledgments. The study was supported by the Russian Science Foundation grant No. 24-69-00043, https://rscf.ru/project/24-69-00043/

Библиографический список:

1. Травуш В.И., Кузеванов Д.В., Каприелов С.С., Волков Ю.С. Бетон как экологический фактор снижения углеродного следа в среде обитания // Бетон и железобетон. – 2022. – №3 (611). – С. 10-14.
2. Каприелов С.С., Шейнфельд А.В., Чилин И.А. Оптимизация параметров технологии бетона для обеспечения термической трещиностойкости массивных фундаментов // Строительные материалы. – 2022. – №10. – С. 41-51.
3. Нелюбова В.В., Усиков С.А., Строкова В.В., Нецвет Д.Д. Состав и свойства самоуплотняющегося бетона с использованием комплекса модификаторов //Строительные материалы. – 2021. – №12. – С. 48-54.
4. Strokova V.V., Nikulina M.V., Baskakov P.S., Abzalilova A.V., Esina A.Y. Influence of a hydrophobic emulsion on the surface properties of coatings of water-dispersion acrylic paint. Materials Science Forum. 2021 1040 MSF: 165-171.
5. Маилян Д.Р., Несветаев Г.В., Коллеганов Н.А. К определению трещиностойкости железобетонных балок из различных видов бетонов // Инженерный вестник Дона. – 2023. – №1(97). – С. 533-548.
6. Chepurnenko A.S., Nesvetaev G.V., Koryanova Yu.I., Yazyev B.M. Simplified model for determining the stress-strain state in massive monolithic foundation slabs during construction // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2022. (18 (3)): 126-136.
7. Lesovik V.S., Popov D.Yu., Fediuk R.S., Usanova K.Iu. Composite binders with superabsorbent polymers // Construction of Unique Buildings and Structures. 2023 (3(108)): 10803.
8. Alaskhanov A.Kh., Lesovik V.S., Tolstoy A. “Green” composites based on technogenic raw materials // AIP Conference Proceedings. 2023. 153-158.
9. Баженов Ю.М., Демьянова В.С., Калашников В.И. Модифицированные высококачественные бетоны // Москва.: Ассоциация строительных вузов. 2006. 289 с.
10. Калашников В.И. Промышленность нерудных строительных материалов и будущее бетонов // Строительные материалы. – 2008. – №3. – С. 20-24.
11. Муртазаев С-А. Ю., Саламанова М.Ш. Перспективы использования термоактивированного сырья алюмосиликатной природы //Приволжский научный журнал. – 2018. – Т. 46. – № 2. – С. 65–70.
12. Каприелов С.С. Модифицированные высокопрочные бетоны классов В80 и В90 в монолитных конструкциях. // Строительные материалы. – 2008. – №3. – С.9-13.
13. Саламанова М.Ш., Сайдумов М.С., Муртазаева, Т.С-А., Хубаев М. С-М. Высококачественные модифицированные бетоны на основе минеральных добавок и суперпластификаторов различной природы // Инновации и инвестиции. 2015. – №8. – С. 159-163.
14. Муртазаев С-А.Ю., Саламанова М.Ш., Алиев С.А., Бисултанов Р.Г. Горные породы вулканического происхождения как заполнители для получения легких бетонов // Научное обозрение. 2015 №7. С. 105-113.
15. Саламанова М.Ш., Бисултанов Р.Г., Мовсулов М.М. Перспективные возможности получения качественных мелкозернистых композитов // Научно-технический журнал Вестник ГГНТУ. Технические науки. 2023. Том XIX. №2(32). С. 94–101.
16. Муртазаев С-А.Ю., Саламанова М.Ш., Корянова Ю.И. Разработка полиморфной вяжущей системы на основе карбонатной добавки //Научно-технический журнал Вестник ГГНТУ. Технические науки. 2023. Том XIX. №3(33). С. 96–103.
17. Yang J., Qu D., Hu J., Song L., Cheng B. Research on singular value detection method of concrete dam deformation monitoring. Measurement. 2021. Vol.179: 109457.
18. Chen J., Jia Q., Xu S., Fan P., The PDEM-based time-varying dynamic reliability analysis method for a concrete dam subjected to earthquake. Structures. 2021. Vol. 33: 2964-2973.
19. Gowripalan N., Shakor P., Rocker P. Pressure exerted on formwork by self-compacting concrete at early ages: A review. Case Studies in Construction Materials. 2021. Vol.15: 00642.

References:

1. Travush V.I., Kuzevanov D.V., Kaprielov S.S., Volkov Yu.S.Concrete as an environmental factor in reducing the carbon footprint in the environment.*Concrete and reinforced concrete*.2022;3 (611):10-14.(In Russ)

2. Kaprielov S.S., Sheinfeld A.V., Chilin I.A. Optimization of concrete technology parameters to ensure thermal crack resistance of massive foundations. *Construction materials*. 2022;10: 41-51. (In Russ)
3. Nelyubova V.V., Usikov S.A., Strokova V.V., Netsvet D.D. Composition and properties of self-compacting concrete using a complex of modifiers. *Construction mater*ials. 2021;12: 48-54. (In Russ)
4. Strokova V.V., Nikulina M.V., Baskakov P.S., Abzalilova A.V., Esina A.Y. Influence of a hydrophobic emulsion on the surface properties of coatings of water-dispersion acrylic paint. Materials Science Forum. 2021 1040 MSF: 165-171.
5. Mailyan D.R., Nesvetaev G.V., Kolleganov N.A. To determine the crack resistance of reinforced concrete beams from various types of concrete. *Engineering Bulletin of the Don*. 2023; 1(97): 533-548. (In Russ)
6. Chepurnenko A.S., Nesvetaev G.V., Koryanova Yu.I., Yazyev B.M. Simplified model for determining the stress-strain state in massive monolithic foundation slabs during construction. *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*. 2022; 18 (3): 126-136.
7. Lesovik V.S., Popov D.Yu., Fediuk R.S., Usanova K.Iu. Composite binders with superabsorbent polymers. *Construction of Unique Buildings and Structures*. 2023; 3(108): 10803.
8. Alaskhanov A.Kh., Lesovik V.S., Tolstoy A. "Green" composites based on technogenic raw materials. AIP Conference Proceedings. 2023;153-158.
9. Bazhenov Yu.M., Demyanova V.S., Kalashnikov V.I. Modified high-quality concrete. Moscow: Association of Construction Universities. 2006; 289. (In Russ)
10. Kalashnikov V.I. Industry of non-metallic building materials and the future of concrete. *Construction materials*. 2008; 3: 20-24. (In Russ)
11. Murtazaev S.A. Yu., Salamanova M.Sh. Prospects for the use of thermally activated raw materials of aluminosilicate nature. *Volga Scientific Journal.* 2018;46(2): 65–70. (In Russ)
12. Kaprielov S.S. Modified high-strength concrete of classes B80 and B90 in monolithic structures. *Construction Materials*. 2008; 3:9-13. (In Russ)
13. Salamanova M.Sh., Saidumov M.S., Murtazaeva, T.S-A., Khubaev M. S-M. High-quality modified concrete based on mineral additives and superplasticizers of various natures. *Innovations and investments.* 2015; 8:159-163. (In Russ)
14. Murtazaev S.A.Yu., Salamanova M.Sh., Aliev S.A., Bisultanov R.G. Rocks of volcanic origin as fillers for producing lightweight concrete. *Scientific review*. 2015;7:105-113. (In Russ)
15. Salamanova M.Sh., Bisultanov R.G., Movsulov M.M. Promising possibilities for producing high-quality fine-grained composites. *Scientific and technical journal Vestnik GGNTU. Technical science.* 2023; XIX. . 2(32).: 94–101. (In Russ)
16. Murtazaev S-A.Yu., Salamanova M.Sh., Koryanova Yu.I. Development of a polymorphic binder system based on a carbonate additive. *Scientific and technical journal Vestnik GGNTU. Technical science*. 2023; XIX.;3(33): 96–103. (In Russ)
17. Yang J., Qu D., Hu J., Song L., Cheng B. Research on singular value detection method of concrete dam deformation monitoring. *Measurement*. 2021;179: 109457.
18. Chen J., Jia Q., Xu S., Fan P., The PDEM-based time-varying dynamic reliability analysis method for a concrete dam subjected to earthquake. *Structures.* 2021; 33: 2964-2973.
19. Gowripalan N., Shakor P., Rocker P. Pressure exerted on formwork by self-compacting concrete at early ages: A review. *Case Studies in Construction Materials.* 2021;15:00642.

Сведения об авторах:

Муртазаев Саид-Альви Юсупович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии строительного производства; s.murtazaev@mail.ru

Саламанова Мадина Шахидовна, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры технологии строительного производства, директор НТЦКП «Современные строительные материалы и технологии»; madina_salamanova@mail.ru

Information about authors:

Said-Alvi Yu. Murtazaev, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Head of the Department of Construction Production Technology; s.murtazaev@mail.ru

Madina Sh. Salamanova, Dr. Sci. (Eng.), Assoc. Prof., Prof., Department of Construction Technology; Director of the Scientific and Technical Center of Collective Use "Modern Building Materials and Technologies"; madina_salamanova@mail.ru

Конфликт интересов/Conflict of interest.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов/The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию/ Received 04.06.2024.

Одобрена после рецензирования / Reviced 28.07.2024.

Принята в печать /Accepted for publication 10.11.2024.