

УДК 691.3

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА СВОЙСТВА ДЕКОРАТИВНОГО САМОУПЛОТНЯЮЩЕГОСЯ БЕТОНА

Л. И. Касторных, В. В. Хартанович, А. А. Федорченко

Донской государственной технической университет (Ростов-на-Дону, Российская Федерация)

Изготовление малых архитектурных форм из декоративного самоуплотняющегося бетона с использованием минерального сырья из строительных отходов сокращает потребление природных ресурсов. Поэтому целью работы являлась оценка возможности использования минеральных красителей и заполнителей из дробленого бетона при производстве малых архитектурных форм. Доля зерен из дробленого бетона в составе мелкого заполнителя может составлять до 40 % без потери способности смеси к самоуплотнению. Выявлено, что воздействие высоких температур оказывает значительное влияние на формирование декоративных и физико-механических свойств бетонов из самоуплотняющихся смесей. Отмечено, что при производстве изделий в заводских условиях не рекомендуется использование органического пигмента, так как термообработка бетона с этим красителем приводит к обесцвечиванию и снижению прочности. Установлено, что минеральный пигмент Bayferrox 960 при термообработке обладает термостойкостью и придает бетону светло-терракотовый цвет. Дозировка этого пигмента в составе декоративного бетона не должна превышать 3 %, так как повышение расхода красителя, не изменяя интенсивности цвета, приводит к снижению прочности бетона.

Ключевые слова: декоративный бетон, самоуплотняющийся бетон, малые архитектурные формы, суперводоредуцирующая добавка, пигмент, рециклинг строительных отходов.

INFLUENCE OF TECHNOLOGICAL FACTORS ON THE PROPERTIES OF DECORATIVE SELF-COMPACTING CONCRETE

L. I. Kastornykh, V. V. Khartanovich, A. A. Fedorchenko

Don State Technical University (Rostov-on-Don, Russian Federation)

The production of small architectural forms from decorative self-compacting concrete using mineral raw materials from construction waste reduces the consumption of natural resources. Therefore, the aim of the work was to assess the possibility of using mineral dyes and aggregates from crushed concrete in the production of small architectural forms. The proportion of grains from crushed concrete in the composition of fine aggregate can be up to 40 % without loss of the ability of the mixture to self-compaction. It is revealed that the effect of high temperatures has a significant effect on the formation of decorative and physical-mechanical properties of concretes from self-compacting mixtures. It is noted that the use of organic pigment is not recommended in the production of products in factory conditions, since the heat treatment of concrete with this dye leads to discoloration and a decrease in strength. It was found that the mineral pigment Bayferrox 960 has heat resistance during heat treatment and gives the concrete a light terracotta color. The dosage of this pigment in the composition of decorative concrete should not exceed 3%, since an increase in the consumption of dye, without changing the intensity of color, leads to a decrease in the strength of concrete.

Keywords: decorative concrete, self-compacting concrete, small architectural forms, super water-reducing additive, pigment, recycling of construction waste.

Введение. Развитие строительной отрасли невозможно без учета основных принципов устойчивого развития — рационального использования сырья и ресурсов, внедрения инновационных технологий, обеспечивающих комфорт и здоровье граждан и снижающих негативное воздействие строительных объектов на окружающую среду. Внедрению принципов устойчивого развития в строительстве способствуют Градостроительный кодекс Российской Федерации и другие федеральные целевые программы.

Одной из основных целей комплексного развития территорий, представленной в Градостроительном кодексе РФ, является повышение эффективности использования территорий за счет формирования комфортной городской среды. Задача благоустройства территорий решается путем применения различных дизайнерских объектов — малых архитектурных форм (МАФ), сочетающих эстетические и утилитарные функции. Элементы благоустройства должны быть эргономичными, безопасными для пользователей и окружающей среды, долговечными, устойчивыми к вандализму. Всем этим требованиям отвечают МАФ из декоративного бетона.

В настоящее время рынок декоративных строительных материалов постоянно пополняется [1, 2]. Появились уникальные бетоны специального назначения: светопрозрачный, самоочищающийся, графический, текстиль-бетон, люобетон и другие. В строительном комплексе России декоративный бетон широко используется для отливки монолитных стен, отделки поверхностей, а также для создания объемных художественно-декоративных изделий: скульптур, барельефов, имитации природного камня. Этот материал отличается от традиционного серого бетона не только цветовой палитрой, но и фактурой, формой, возможностью создания любого орнамента.

Декоративные бетоны для достижения требуемых эстетических свойств получают окрашиванием, полировкой, текстурированием, тиснением, гравировкой, использованием топпингов и другими приемами. Перечисленные методы изготовления изделий из декоративного бетона характеризуются высокой трудоёмкостью и себестоимостью, поэтому поиск альтернативных технологий является актуальной задачей. По мнению авторов, наиболее перспективной технологией изготовления арт-объектов для благоустройства можно считать производство МАФ из декоративного самоуплотняющегося бетона (СУБ), не требующего дополнительной обработки.

Применение самоуплотняющихся бетонных смесей для производства изделий предусматривает ряд дополнительных требований. Известно, что на формирование свойств самоуплотняющихся смесей большое влияние оказывают форма, размер и количество заполнителей. Поэтому для обеспечения высокой текучести смесей форма зерен заполнителя должна приближаться к окатанной, размер зерен ограничиваться 16 мм, а доля мелкого заполнителя составлять не менее 0,45 [3].

Для реализации принципов устойчивого развития в сфере благоустройства городской среды при изготовлении МАФ целесообразно в качестве минерального сырья применять строительные отходы — мелкий и крупный заполнители из дробленого бетона и формировать изделия из самоуплотняющихся смесей [4, 5].

Возможность рециклинга строительных отходов — применение заполнителей из дробленых материалов — исследована и установлена для строительных растворов [6], бетонов общестроительного назначения [7–9], а также самоуплотняющихся бетонов [10, 11]. Влияние заполнителей из дробленого бетона на свойства декоративных самоуплотняющихся смесей пока изучено мало, поэтому целью настоящей работы явилась оценка возможности реализации

принципов устойчивого развития в сфере благоустройства территорий при производстве малых архитектурных форм с минеральными красителями и заполнителями из дробленого бетона.

Материалы и методика исследований. В работе использовали заполнители из строительных отходов — дроблёного бетона по ГОСТ 32 495. В качестве крупного заполнителя применяли однофракционный щебень наибольшей крупности 10 мм (истинная плотность — 2650 кг/м^3 , насыпная плотность — 1400 кг/м^3 , пустотность — 47,2 %, прочность по дробимости 800). В качестве мелкого заполнителя — песок из дробленого бетона, представленный частицами растворной составляющей с размерами зерен 1,25–5,0 мм (истинная плотность — 2650 кг/м^3 , насыпная плотность — 1420 кг/м^3 , пустотность — 46,4 %).

Ранее проведенными исследованиями установлено [12, 13], что при использовании дробленых материалов в самоуплотняющихся смесях возникает противоречие: увеличение доли зерен с шероховатой поверхностью способствует повышению прочности бетона, но при этом растекаемость смеси и её способность к самоуплотнению понижаются. Поэтому для обеспечения требуемой текучести смесей в состав вводили природный кварцевый песок с зернами окатанной формы по ГОСТ 8736 (истинная плотность — 2650 кг/м^3 , насыпная плотность — 1413 кг/м^3 , модуль крупности — 1,61, пустотность — 46,7 %).

Для оценки влияния пигментов на основные свойства декоративных самоуплотняющихся бетонов применяли следующие красители:

- оранжевый минеральный пигмент Bayferrox 960 с дозировкой от 2 до 4 % массы вяжущего;
- синий органический (синтетический) пигмент Printonik 460, модифицированный химическими добавками для лучшего распределения, с дозировкой 2–3 % от массы вяжущего;
- белый пигмент Tongchem TD-R950: диоксид титана рутильной формы (TiO_2) с дозировкой 2 % от массы всей смеси минеральных компонентов.

В качестве вяжущего для приготовления декоративных бетонных смесей использовали иранский белый портландцемент класса СЕМІ 42,5N. Минералогический состав цемента, %: C_3S — 74; C_2S — 11,5; C_3A — 11,3; C_4AF — 0,3. Технические характеристики белого портландцемента представлены в таблице 1.

Таблица 1

Основные характеристики белого портландцемента

Показатель, единица измерения	Величина
Прочность на сжатие в возрасте 28 сут, МПа	53,7
Удельная поверхность, $\text{м}^2/\text{кг}$	405,0
Нормальная густота цементного теста, %	28,0
Истинная плотность, кг/м^3	3100
Насыпная плотность, кг/м^3	1100
Сроки схватывания, час-мин: начало/конец	2–00 / 2–30
Коэффициент отражения света, %	85,0

Гранулометрический состав тонкодисперсных материалов в значительной степени влияет на характеристики бетонных смесей и формирует свойства затвердевшего композита. В наших исследованиях зерновой состав белого портландцемента и пигментов, установленный на лазерном анализаторе частиц Microsizer-201С, представлен на рис. 1.

Выбор химической добавки был продиктован необходимостью высокой текучести бетонной смеси и отсутствием влияния на изменение цвета декоративного бетона. Выполненными исследованиями установлено, что высокой разжижающей способностью обладают добавки на основе эфиров полиарила и поликарбоксилата [14]. Поэтому в работе для регулирования свойств декоративных самоуплотняющихся смесей применяли добавку компании BASF — MasterPolyHeed 3545 (МРН 3545) в виде бесцветной жидкости, которая соответствует требованиям ГОСТ 24 211 для суперпластифицирующих и суперводоредуцирующих добавок. Дозировка суперпластификатора составляла 1,6–1,8 % от массы вяжущего.

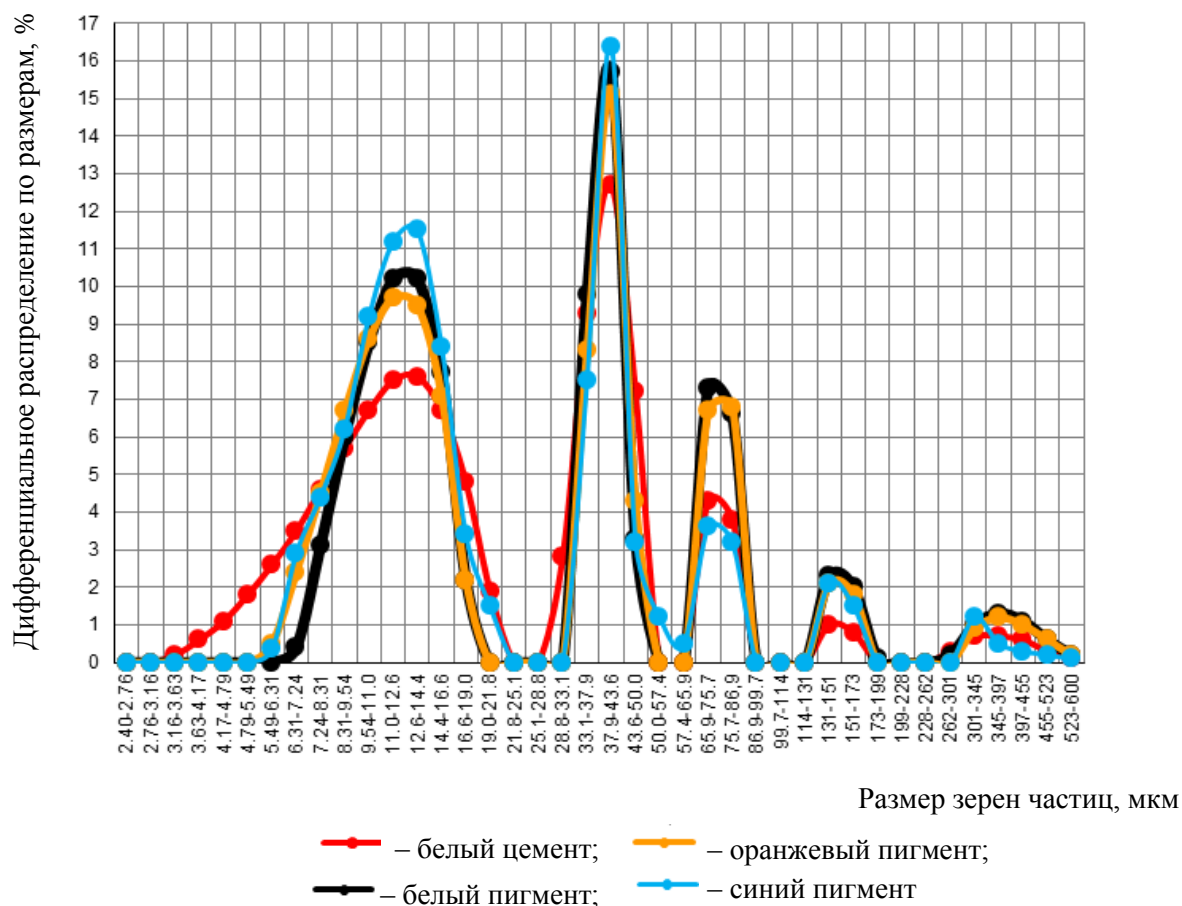


Рис. 1. Гранулометрический состав тонкодисперсных материалов для декоративного бетона

Приготовление декоративных самоуплотняющихся смесей выполняли по следующей схеме. На первой стадии перемешивали минеральные заполнители и красители в сухом виде, на второй — к перемешанной смеси добавляли белый цемент, а на третьей — вводили жидкие компоненты. Модификатор МРН 3545 вводили в смесь после предварительного перемешивания всех минеральных компонентов с частью (20 %) воды затворения незадолго до окончания перемешивания. Такая схема приготовления дает возможность максимальной реализации разжижающего эффекта суперпластификатора.

Растекаемость декоративных самоуплотняющихся смесей устанавливали по диаметру расплыва бетонного конуса по ГОСТ Р 59714. Диаметр расплыва самоуплотняющейся смеси PK , см, определяли рулеткой измерением диаметра расплывшейся лепешки d_1 и d_2 в двух взаимно перпендикулярных направлениях:

$$PK = \frac{d_1 + d_2}{2} \quad (1)$$

Из смеси каждого состава готовили контрольные образцы-кубы с номинальным размером ребра 100 мм. Часть образцов твердела в нормальных условиях (температура $20 \pm 2^\circ\text{C}$,

относительная влажность воздуха 95–100 %), а другая подвергалась ускоренному твердению при повышенной температуре.

Режим термообработки назначали с учетом специфики теплового воздействия на структуру свежееотформованного самоуплотняющегося бетона [15, 16].

Термообработку образцов декоративного бетона проводили в лабораторной пропарочной камере по следующему режиму:

- продолжительность предварительного выдерживания без подачи теплоносителя — 5 ч;
- длительность подъема температуры до максимальной (60°C) — 3 ч;
- длительность изотермического обогрева — 10 ч;
- длительность остывания бетона в камере — 2 ч.

Хранение и испытание контрольных образцов-кубов декоративного бетона выполняли по методике ГОСТ 10 180.

В качестве критерия эффективности термообработки декоративного бетона с пигментами и суперпластификатором принимали коэффициент $K_{ТО}$:

$$K_{ТО} = \frac{R_{ТО}^{28} - R_N^{28}}{R_{ТО}^{28}}, \quad (2)$$

где $R_{ТО}^{28}$ — прочность бетона после тепловой обработки в возрасте 28 сут. МПа; R_N^{28} — прочность бетона нормального твердения в возрасте 28 сут., МПа.

Оценку водоредуцирующей способности суперпластификатора и эффективности состава декоративного СУБ проводили по удельному расходу цемента на единицу прочности бетона в проектном возрасте $K_{ц}$:

$$K_{ц} = Ц/R_{28}, \quad (3)$$

где $Ц$ — расход цемента на 1 м³ бетона, кг; R_{28} — прочность бетона на сжатие в проектном возрасте, МПа.

Влияние вида красителей и дозировки заполнителей на свойства декоративного самоуплотняющегося бетона. Для оценки влияния технологических факторов на свойства самоуплотняющихся смесей и показатели качества декоративного СУБ были приготовлены смеси одинаковой удобоукладываемости марки РК1 с номинальным расходом белого цемента 440 кг/м³ (таблица 2).

Таблица 2

Состав и характеристики декоративных самоуплотняющихся смесей

Состав	Дозировка цветного пигмента, %	Расход материалов, кг/м ³										Диаметр распыла смеси, см	Средняя плотность смеси, кг/м ³	Объем цементного теста, л
		Песок природный: фракции, мм			Песок дробленый: фракции, мм		Щебень дробленый: фракции 5–10 мм	Диоксид титана TiO ₂	Пигмент Bayferrox 960	Пигмент Printonik 460	Добавка МРН 3545			
		0,16 – 0,315	0,315 – 0,63	0,63 – 1,25	1,25 – 2,5	2,5 – 5,0								
1D	–	76	190	190	152	152	887	42	–	–	7,0	55,0	2370	373
2В	2,0	75	189	200	139	151	880	42	9	–	7,0	56,0	2360	371
3В	4,0	104	157	187	150	149	872	42	17	–	7,0	55,0	2360	380
4Р	2,0	98	148	196	147	147	860	41	–	8,6	6,8	55,0	2305	361
5Р	3,0	94	156	199	106	194	874	–	–	13,2	7,9	56,0	2310	370

Форма зерен заполнителя из дробленого бетона характеризуется остроугольной, шероховатой поверхностью, поэтому оптимизация их гранулометрического состава играла важную роль. Для создания оптимальной упаковки зерен заполнителя в структуре декоративных бетонов подбор зернового состава проводили на основе результатов ранее выполненных исследований [17]. Для определения рационального гранулометрического состава дозирование мелкого заполнителя выполняли пофракционно. В ходе исследований установлено, что для обеспечения требуемой текучести смесей повышение объема цементного теста до 360–380 л приводит к увеличению раздвижки зерен заполнителя и созданию «плавающей» структуры крупного заполнителя в бетоне. Этот технологический фактор придает смесям высокую растекаемость и реологическую стабильность даже при содержании 40 % дробленых зерен в составе мелкого заполнителя.

Вовлечение тонкодисперсных материалов — белого и цветных пигментов — в состав смесей не оказало значительного влияния на их растекаемость. Это можно объяснить тем, что гранулометрический состав красителей, представленный в основном зернами размером 7,0–50,0 мкм, близок к зерновому составу вяжущего (рис. 1). На начальной стадии приготовления смеси частицы красителей, размещаясь в межзерновом пространстве цемента, увеличивают долю тонкодисперсной фазы и, благодаря наличию высокоэффективной химической добавки, не препятствуют текучести смесей. Решающее значение на формирование реологических свойств декоративных самоуплотняющихся смесей оказывает суперводоредуцирующая добавка МРН 3545. Благодаря высокой водоредуцирующей и водоудерживающей способности, она обеспечивает текучесть смеси и при этом снижает риск водоотделения и расслоения, гарантируя достижение бетоном требуемых показателей качества в проектном возрасте. Высокий потенциал добавки реализуется за счет уникальной структуры молекул, в которой гибкое объемное действие эфиров полиарила компенсирует жесткое линейное взаимодействие основной цепи поликарбоксилата с поверхностью цемента. Такой механизм действия добавки обеспечивает требуемое регулирование реологических свойств смеси при минимальной водопотребности и, как следствие, гарантирует получение бетона высокой прочности (таблица 3).

Таблица 3

Характеристики декоративных самоуплотняющихся бетонов

Состав	Цементно-водное отношение	Средняя плотность, кг/м ³	Предел прочности при сжатии, МПа			Коэффициент эффективности термообработки K_{HT}	Коэффициент использования цемента K_c , кг/МПа
			после термообработки в возрасте, сут.		нормального твердения в возрасте, сут.		
			1	28			
1D	1,93	2290	31,1	51,8	52,3	– 0,01	8,4
2B	1,92	2305	31,9	52,2	53,5	– 0,02	8,2
3B	1,82	2280	28,1	47,1	49,5	– 0,05	8,8
4P	1,94	2295	12,9	29,8	48,9	– 0,64	8,8
5P	1,91	2285	16,1	33,6	42,3	– 0,26	10,3

Анализ прочностных характеристик декоративного бетона после тепловой обработки свидетельствует о существенном влиянии вида и дозировки пигментов на формирование начальной структурной прочности и эффективность термообработки (рис. 2).

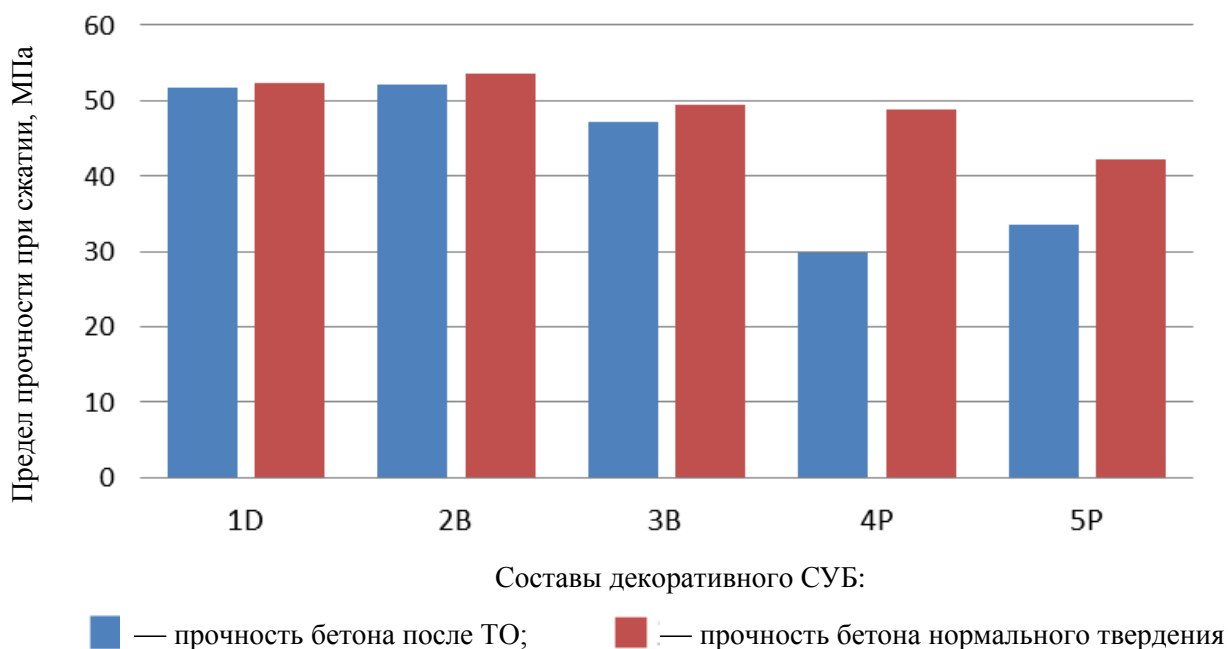


Рис. 2. Изменение прочности декоративного самоуплотняющегося бетона, в зависимости от условий твердения

Отрицательная величина коэффициента K_{HT} характеризует негативное влияние высоких температур на физико-механические свойства бетона. Для составов 1D, 2B, 3B с диоксидом титана и оранжевым пигментом Bayferrox 960 повышение температуры твердения незначительно повлияло на изменение прочности бетона, а для составов 4P, 5P с синим пигментом Printonik 460 — в большей степени. Кроме того, синий органический пигмент не проявил температуростойкость, после термообработки образцы бетона составов 4P и 5P обесцветились. По мнению авторов, это объясняется тем, что на начальной стадии частицы инертного высокодисперсного органического пигмента продолжительное время удерживают на поверхности химически несвязанную воду, которая при повышении температуры формирует крупнопористую структуру цементного камня. В самоуплотняющихся бетонных смесях, отличающихся высокой водопотребностью, такой характер структурообразования бетона при воздействии высокой температуры неизбежно приводит к падению прочности. При сравнении прочностных характеристик декоративных бетонов составов 2B и 3B отмечено снижение прочности бетона при увеличении расхода оранжевого красителя Bayferrox 960. Это можно объяснить тем, что частицы пигмента, размещаясь в межзерновом пространстве цемента в большем количестве, нарушают монолитность кристаллического сростка цементной матрицы и снижают её прочность. При этом увеличение расхода оранжевого пигмента до 4 % в составе 3B к заметному усилению цвета не привело.

Оценка эффективности составов декоративных СУБ по коэффициенту использования вяжущего $K_{Ц}$ (таблица 3) показала, что получение декоративных самоуплотняющихся бетонных смесей с минимальным удельным расходом цемента вполне достижимо (состав 2B). Это реализуется благодаря оптимизации зернового состава заполнителя, а также за счет высокой водоредуцирующей способности химического модификатора МРН 3545.

Заключение. Выполненными исследованиями установлена возможность реализации принципов устойчивого развития при производстве изделий из декоративного самоуплотняющегося бетона. Изготовление МАФ с использованием минерального сырья из

строительных отходов — заполнителей из дробленого бетона — существенно сокращает потребление природных ресурсов. Наличие дробленых зерен с остроугольной и развитой поверхностью не препятствует растекаемости бетонных смесей при рациональном содержании теста вяжущего и создании «плавающей» структуры крупного заполнителя.

Воздействие высоких температур оказывает значительное влияние на формирование декоративных и физико-механических свойств бетонов из самоуплотняющихся смесей. Отмечено, что при производстве МАФ в заводских условиях не рекомендуется использование органического пигмента, так как термообработка бетона с этим красителем приводит к обесцвечиванию и снижению прочности. Выявлено, что минеральный пигмент Bayferrox 960 при термообработке обладает термостойкостью и придает бетону светлотерракотовый цвет. Дозировка этого пигмента не должна превышать 3 %, так как повышение расхода минерального красителя, не изменяя интенсивности цвета, приводит к снижению прочности бетона.

Установлено, что для декоративных самоуплотняющихся смесей решающее значение имеет применение суперводоредуцирующей добавки MasterPolyNeed 3545 в оптимальном количестве. Химический модификатор проявляет свой высокий потенциал в бетонных смесях благодаря уникальной структуре полимеров, включающих эфиры полиарила и поликарбоксилатов.

В условиях реального производства безвибрационная технология производства МАФ из декоративных самоуплотняющихся смесей позволит снизить потребление электроэнергии и сделать труд рабочих безопасным и социально привлекательным.

Библиографический список

1. Современные декоративные строительные материалы / И. В. Трищенко, А. В. Каклюгин, Е. Р. Гуревнина, А. А. Карпов // Актуальные проблемы науки и техники. 2019 : мат-лы нац. науч.-практ. конф. — Ростов-на-Дону: ДГТУ, 2019. — С. 771–772.
2. Концепция формирования свойств материалов для архитектурно-декоративного оформления / А. П. Пичугин, В. Ф. Хританков, А. В. Пчельников, О. Е. Смирнова [и др.] // Известия вузов. Строительство. — 2021. — №9. — С. 21–32. <https://doi.org/10.32683/0536-1052-2021-753-9-21-32>
3. Несветаев, Г. В. Самоуплотняющиеся бетоны: некоторые факторы, определяющие текучесть смеси / Г. В. Несветаев, А. Н. Давидюк, Б. А. Хетагуров // Строительные материалы. — 2009. — № 3. — С. 54–57.
4. Technology of small architectural forms for the improvement of rural settlements / L. Kastornykh, A. Kaklyugin, M. Kholodnyak [et al.] // E3S Web of Conferences : 14th International Scientific and Practical Conference on State and Prospects for the Development of Agribusiness, INTERAGROMASH 2021, — Rostov-on-Don: EDP Sciences, 2021. — P. 06003. [10.1051/e3sconf/202127306003](https://doi.org/10.1051/e3sconf/202127306003)
5. Modani, P. O. Self-compacting concrete with recycled aggregate: a solution for sustainable development / P. O. Modani, V. Mohitkar // International Journal of Civil Structural Engineering. — 2014. — № 4. — P. 430–440.
6. Павлов, А. В. Влияние добавки молотого бетонного лома на кинетику изменения прочности цементно-песчаного раствора / А. В. Павлов, В. Ф. Коровяков // Инженерный вестник Дона: [сайт]. — 2021. — №3. — URL : <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2021/6879> (дата обращения : 13.05.2022).
7. Пуляев, С. М. Исследование процесса раннего структурообразования бетона на щебне из бетонного лома / С. М. Пуляев, М. Б. Каддо, И. С. Пуляев // Вестник МГСУ. — 2012. — № 1. — С. 68–71.

8. Гончарова, М. А. Рециклинг крупнотоннажных бетонных и железобетонных отходов при реализации контрактов полного жизненного цикла / М. А. Гончарова, П. В. Борков, Аль-Суррайви Хамид Галиб Хуссайн // Строительные материалы. — 2019. — № 12. — С. 52–57.

9. Касторных, Л. И. Эффективность системы рециклинга на заводах товарного бетона и сборного железобетона / Л. И. Касторных, И. В. Трищенко, М. А. Гикало // Строительные материалы. — 2016. — № 3. — С. 36–39.

10. Наруть, В. В. Самоуплотняющиеся бетоны на основе бетонного лома сносимых жилых зданий / В. В. Наруть, О. А. Ларсен // Промышленное и гражданское строительство. — 2020. — № 2. — С. 52–58. [10.33622/0869-7019.2020.02.52-58](https://doi.org/10.33622/0869-7019.2020.02.52-58)

11. Ларсен, О. А. Технология переработки бетонного лома с целью получения самоуплотняющегося бетона / О. А. Ларсен, В. В. Наруть, В. В. Воронин // Строительство и реконструкция. — 2020. — № 2 (88). — С. 61–66. [10.33979/2073-7416-2020-88-2-61-66](https://doi.org/10.33979/2073-7416-2020-88-2-61-66)

12. Касторных, Л. И. Влияние отсева камнедробления и минерального наполнителя на характеристики мелкозернистых самоуплотняющихся бетонов / Л. И. Касторных, А. Г. Тароян, Л. М. Усепян // Инженерный вестник Дона: [сайт]. — 2017. — № 3 (46). — С. 107. — URL : <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n3y2017/4340/> (дата обращения : 13.05.2022).

13. Klyuev, S. Fiber Concrete on the Basis of Composite Binder and Technogenic Raw Materials / S. Klyuev, T. Khezhev, Yu. Pukhareno, A. Klyuev // Materials Science Forum. — 2018. — № 931. — P. 603–607. [10.4028/www.scientific.net/MSF.931.603](https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.931.603)

14. Касторных, Л. И. Влияние суперпластифицирующей добавки MasterPolyNeed на основные свойства тяжелого и мелкозернистого бетона / Л. И. Касторных, В. В. Хартанович, Д. Р. Шершень // Молодой исследователь Дона. — 2020. — № 4 (25) — С. 46– 55. URL : http://mid-journal.ru/upload/iblock/fcf/9_1157-Kastornykh_46_55.pdf (дата обращения : 13.05.2022).

15. Кришан, А. Л. Режим прогрева высокопрочного самоуплотняющегося напрягающего бетона / А. Л. Кришан, А. И. Сагадатов, Е. А. Трошкина // Архитектура. Строительство. Образование. — 2017. — № 2 (10). — С. 41–49.

16. Kastornykh, L. I. Heat Curing Efficiency Estimation of Concrete with Superplasticators on Polycarboxylates Basis / L. I. Kastornykh, I. V. Trischenko, A. V. Kakljugin, D. R. Shershen // Materials Science Forum. — 2019. — Vol. 974. — P. 231–236. Materials and Technologies in Construction and Architecture II. [10.4028/www.scientific.net/MSF.974.231](https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.974.231)

17. Касторных, Л. И. Оптимизация зернового состава заполнителя для мелкозернистого самоуплотняющегося бетона / Л. И. Касторных, В. Д. Черепанов, В. Э. Березовой // Молодой исследователь Дона. — 2020. — № 5 (26). — С. 40–48. URL: http://mid-journal.ru/upload/iblock/eb6/8_1185-Kastornykh_40_48.pdf (дата обращения : 13.06.2022).

Об авторах:

Касторных Любовь Ивановна, доцент кафедры «Технологический инжиниринг и экспертиза в стройиндустрии» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), кандидат технических наук, доцент, [ORCID](https://orcid.org/likas9@mail.ru), likas9@mail.ru

Хартанович Владимир Владимирович, студент кафедры «Технологический инжиниринг и экспертиза в стройиндустрии» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), vhartanovich@mail.ru



Федорченко Ангелина Андреевна, магистрант кафедры «Технологический инжиниринг и экспертиза в стройиндустрии» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), [ORCID](#), fedorchenko.lina@bk.ru

About the Authors:

Kastornykh, Lyubov I., Associate professor, Department of Technological Engineering and Expertise in the Construction Industry, Don State Technical University (1, Gagarin sq., Rostov-on-Don, 344003, RF), Cand. Sci. (Eng.), associate professor, [ORCID](#), likas9@mail.ru

Khartanovich, Vladimir V., Student, Department of Technological Engineering and Expertise in the Construction Industry, Don State Technical University (1, Gagarin sq., Rostov-on-Don, 344003, RF), vhartanovich@mail.ru

Fedorchenko, Angelina A., Master's degree student, Department of Technological Engineering and Expertise in the Construction Industry, Don State Technical University (1, Gagarin sq., Rostov-on-Don, 344003, RF), [ORCID](#), fedorchenko.lina@bk.ru