

Научная статья

УДК 674.8

<https://doi.org/10.15828/2075-8545-2023-15-6-531-537>

CC BY 4.0

Железооксидный пигмент как красящий нанонаполнитель декоративно-бетонных изделий

Эльмира Курбангалиевна Аминова* , Лилия Зайнулловна Касьянова ,
Айгуль Акрамовна Исламутдинова , Лилия Рафиковна Асфандиярова 

Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа, Россия

* Автор, ответственный за переписку: e-mail: k.elmira.k@yandex.ru

АННОТАЦИЯ: Введение. Современные исследования, посвященные изучению эксплуатационных свойств декоративных бетонов, при добавлении к бетонной смеси нанопигментов несут больше рекомендательный характер. В научной литературе чаще всего при создании элементов благоустройства рекомендуется введение пигмента в количестве около 5% от общей массы цемента. Все описанные рекомендации чаще всего показывают возможность использования нанопигментов с точки зрения влияния количества применяемой нанодобавки на однородность текстуры покрытия. Также учитываются такие характеристики, как интенсивность и время сохранения полученного цвета. В нашей стране нет утвержденных нормативных документов, регламентирующих способы использования пигментов для окрашивания бетонов. Пигменты получают в основном из оксидов железа вследствие их доступности и низкой токсичности для организма человека, являются перспективными наноматериалами в строительстве. **Методы и материалы.** Исследование направлено на применение железооксидного пигмента, полученного из отработанного железооксидного катализатора дегидрирования, в качестве красящего нанонаполнителя и улучшающего прочностные характеристики декоративно-бетонных изделий. Отработанные железооксидные катализаторы, содержащие частицы оксидов железа, рассматриваются как побочный продукт химического производства. Целью данного исследования является применение пигмента (в виде Fe_2O_3 и Fe_3O_4), полученного из состава отработанного железооксидного катализатора в качестве дополнительного вяжущего и красящего наноматериала в составе декоративно-бетонных изделий. Эффект оценивали путем тестирования механических свойств, таких как прочность, цветность, водопоглощение, водо- и морозостойчивость. **Результаты.** Результаты исследований показали, что использование нанопигмента в технологии получения бетона улучшает свойства цементирующих композитов (цемента) и позволяет изменить цветность изделий. **Заключение.** Данное исследование заключается в применении железооксидного нанопигмента, полученного из отработанного катализатора дегидрирования олефинов и алкилароматических углеводородов, в декоративно-бетонных изделиях с обеспечением механических характеристик и цветности продуктов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: декоративно-бетонные изделия, отработанный катализатор, нанопигмент.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Аминова Э.К., Касьянова Л.З., Исламутдинова А.А., Асфандиярова Л.Р. Железооксидный пигмент как красящий нанонаполнитель декоративно-бетонных изделий // Нанотехнологии в строительстве. 2023. Т.15, № 6. С. 531–537. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2023-15-6-531-537>. – EDN: UGFCQW.

ВВЕДЕНИЕ

Совершенствование строительных технологий на сегодняшний день занимает одно из основных направлений в научно-исследовательском процессе. Огромное значение уделяется строительству жилых зданий и общественных сооружений. Отделка фасадов таких сооружений играет большую роль, и к ней предъявляются строгие требования. Цветовая гамма современных строительных сооружений и арт-объектов имеет очень широкие возможности. С этой

целью используются колорированные сухие смеси для строительства и отделочных работ, таких как стены зданий, панели, строительные блоки и другие строительные конструкции. Декоративно-бетонную шихту на практике получают с использованием окрашенных цементов или путем введения красителей в состав строительных смесей [1–2]. Среда портландцемента является щелочной, поэтому вводимая в нее добавка должна быть устойчивой к щелочной среде. Также одной из важных характеристик при подготовке шихты необходимо учитывать покрывную

© Аминова Э.К., Касьянова Л.З., Исламутдинова А.А., Асфандиярова Л.Р., 2023

способность, которая характеризуется не снижением прочностных характеристик декоративно-бетонных изделий, а их улучшением также с учетом нормы расхода вяжущего. При изготовлении большинства декоративно-бетонных материалов используют желтый, красный, черный и коричневый цвета, основой которых является железооксидный пигмент. Эти пигменты могут быть как натуральными, так и синтетическими. Натуральные пигменты достаточно редко применяют в производстве бетонных покрытий в связи с их низкой эксплуатационной характеристикой, такой как влагоемкость, низкая яркость таких конструкция и непостоянность качества. Будущее декоративно-бетонных изделий при их получении — за использованием специфичных нанопигментов, обладающих вариативными возможностями по требованиям заказчика. Следует отметить, что синтетические пигменты обладают высокой красящей и укрывающей способностью.

Совершенствование технологии использования пигментов в строительных материалах привело к разработке и применению пигментов, которые являются частицами размером менее 100 нанометров. Использование нанопигментов в бетоне имеет ряд преимуществ, таких как более глубокий и насыщенный цвет, улучшенная устойчивость к ультрафиолетовому излучению и долговечность материала [3–9].

Первые эксперименты с использованием пигментов в бетоне начали проводиться в конце двадцатого века. Однако изначально они ограничивались применением в лабораторных условиях и не имели промышленного применения.

С появлением новых технологий и развитием технологий в последние десятилетия использование нанопигментов в бетоне приобрело все большую популярность. С помощью нанопигментов стало возможным достигать широкого спектра цветовых оттенков и создавать уникальные дизайнерские решения для декоративных элементов из бетона.

Благодаря своим маленьким размерам, нанопигменты смешиваются с бетонной смесью на молекулярном уровне, обеспечивая равномерное распределение цвета в материале. Это позволяет создавать более глубокий и насыщенный цвет, превосходящий традиционные пигменты в качестве окрашивания бетона.

Одним из главных преимуществ использования нанопигментов в бетоне является их высокая устойчивость к ультрафиолетовому излучению и внешним воздействиям. Благодаря этому окрашенные пигментами бетонные поверхности сохраняют свою яркость и цветовую стабильность в течение длительного времени.

В недавнем прошлом строительные компании применяли при получении бетонных смесей синтетический каменный материал, полученный на основе

воды, песка и щебня. Смешением этих компонентов получают твердые и прочные композиции. Такие композиции хорошо характеризуют себя при получении фундамента, стен, потолочных перекрытий, облицовочных материалов для внутренних и внешних поверхностей. В настоящее время к строительным материалам предъявляются высокие требования по сроку службы, как правило, не менее десяти лет. В основном они применяются при оформлении приусадебных участков, парков, торговых центров, скверов, находящихся под воздействием агрессивной окружающей среды.

Сегодня использование нанопигментов в бетоне нашло широкое применение в строительной индустрии. Они используются для создания декоративных элементов, таких как плиты тротуаров, стеновые панели, фасады зданий и другие архитектурные конструкции. Железооксидные нанопигменты открывают новые возможности для дизайнеров и архитекторов, позволяя им создавать уникальные и визуально привлекательные элементы из бетона.

В целом, использование пигментов на основе смеси Fe (II) и Fe(III) в бетоне представляет собой современную технологию, которая позволяет достичь высокой эстетической привлекательности и долговечности окрашенных бетонных поверхностей. Эта технология продолжает развиваться, и ожидается, что в будущем ее применение в строительстве и дизайне будет становиться все более распространенным и инновационным.

Промышленное производство наноматериалов при проведении отделочных работ в настоящее время стремительно растет. Большой спрос имеют изделия из декоративных цементных бетонов, основным недостатком которых является невысокая стойкость в агрессивных средах, в условиях с переменным изменением температуры, таких как замораживание и оттаивание, а также устойчивость к ударным и истирающим воздействиям. Поэтому получение смесей для изготовления декоративных бетонных изделий с улучшенными характеристиками является актуальной и перспективной задачей.

На сегодняшний день в нашей стране не существует нормативных документов и стандартов качества использования пигментов при окраске декоративно-бетонных и других строительных материалов. Европейские компании используют при производстве данных материалов международный стандарт EN 12 878 «Пигменты для окрашивания строительных материалов на цементном и известковом вяжущем» [10–11], Соединенные Штаты применяют стандарт ASTM C 979 «Pigments for Integrally Colored Concrete» [12]. При применении данных стандартов учитывают влияние пигмента на время затвердевания цементной смеси и на прочность конечного продукта.

Анализ исследований, которые относятся к области применения нанопигментных добавок в бетоны и декоративные смеси, показывает, что это тема малоизучена и является интересной и полезной с точки зрения утилизации производственных отходов.

В связи со спросом населения с каждым годом уделяется все больше внимания строительству как гражданских, так и общественных объектов, скверов и парков, где неотъемлемой частью отделки являются декоративно-бетонные материалы различной цветовой гаммы [13–20].

МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

В работе предложен способ экологичной переработки катализаторных отходов гидрирования непредельных углеводородов с получением ценного продукта – нанопигмента. Пигмент – железоксидная нанодобавка – улучшает прочностные свойства бетонов и позволяет получить яркие однотонные бетонные массы. Снижение высолов также является положительным моментом ее использования.

Одним из широко применяемых в декоративном бетоне пигментом является железоксидный пигмент. Необходимо отметить некоторые особенности железоксидных пигментов и их применение в декоративном бетоне. Именно железоксидные пигменты предлагают широкий спектр цветов, включая оттенки красного, желтого, коричневого и черного. Это позволяет дизайнерам и архитекторам выбирать подходящий цвет для создания эстетически привлекательных и индивидуальных поверхностей из декоративного бетона. Кроме того, они обладают высокой устойчивостью к воздействию ультрафиолетовых лучей, к выцветанию, влаге, химическим реагентам и механическому износу. Это делает их идеальным выбором для использования в открытых пространствах, включая фасады зданий, тротуары, площадки и другие элементы ландшафта. Немаловажным является экологическая безопасность. Железоксидные пигменты как нанонаполнители являются экологически безопасными и не содержат тяжелых металлов или вредных химических соединений. Они не оказывают негативного влияния на окружающую среду и здоровье людей, что делает их предпочтительным выбором для использования в строительстве и ремонте. В данной работе применяется железоксидный пигмент, полученный из отработанного железосодержащего катализатора, что усиливает привлекательность работы в связи с решением проблем утилизации твердых отходов производства и получением экологически чистых продуктов для строительства.

Отработанные железоксидные катализаторы в зависимости от их модификации порядка до 80%

содержат оксиды железа в виде гематита и магнетита. Водорастворимые составляющие катализатора образуют щелочную среду. Освобожденный от водорастворимых компонентов с последующей сушкой и размолотом в дезинтеграторе до 3–20 мкм продукт представляет собой смесь оксидов железа в виде Fe_2O_3 и Fe_3O_4 .

Среда портландцемента является щелочной, поэтому вводимая в нее добавка должна быть устойчивой к щелочной среде. А при подготовке шихты необходимо учитывать покрывающую способность, не снижающую прочностные характеристики декоративно-бетонных изделий, а также с учетом нормы расхода вяжущего [8].

РЕЗУЛЬТАТЫ

Наиболее востребованными цветами для потребителя являются желтый, красный, коричневый и черный. Полученный нами нанопигмент из отработанного железоксидного катализатора представляет собой красно-коричневый продукт, характеристики которого представлены в табл. 1.

В Европе используются пигменты фирмы «Байер». Эти пигменты демонстрируют высокое качество, но являются очень дорогостоящими, таким образом, при масштабном применении в производстве строительных материалов, в частности, декоративно-бетонных изделий, приводит к высоким затратам для потребителя.

Привлекательностью предлагаемого нанопигмента является его низкая стоимость за счет использования в качестве сырья отработанного железоксидного катализатора.

Оценка качества полученного пигмента в качестве нанонаполнителя для декоративно-бетонных изделий проводилась путем приготовления бетонных изделий с последующим тестированием полученных

Таблица 1
Физико-химические показатели пигмента, полученные из отработанных железоксидных катализаторов

Наименование показателя	Пигмент
1. Содержание Fe_2O_3 , % масс.	83,79
2. Растворимые в воде соединения, % масс	0,7996
3. pH водной вытяжки	6,0
4. Остаток после сухого просеивания на сите с сеткой 016, %	1,3

образцов по следующим показателям: тестирование механических свойств, таких как прочность, цветность, водопоглощение, устойчивость к изменениям в климатических условиях, таких как жаро- и морозоустойчивость.

Для этого проводили серию экспериментов, включающих приготовление бетонных изделий с различными концентрациями пигментов.

Для приготовления материала использовали компоненты, такие как: цемент марки М500, суперпластификатор СЗ ОПТИЛУХ (ОПТИЛЮКС) для бетонов и строительных растворов (соответствует требованиям ГОСТ 24211), нанопигмент (из отработанного железооксидного катализатора), вода [21].

Приготовление бетонной смеси проводили в лабораторной перемешивающей установке. Время перемешивания составляло 2–3 минуты. Готовая бетонная смесь укладывалась в форму для создания образцов. Все образцы твердели в естественных условиях.

Получение спектра цветов зависит от количества добавленного пигмента. Нами было изучено влияние количества пигмента в диапазоне 3,3÷40% масс. с получением изделий цветовой гаммы от светло-коричневого до темно-коричневого. Рецептúra полученных образцов представлена в табл. 2.

При добавлении пигмента выше 40% было невозможно получить образцы бетонных изделий с однородной гладкой поверхностью. Для дальнейших исследований были отобраны образцы с содержанием пигмента 3,3, 16,67, 26,67 и 40%.

Для проверки морозоустойчивости образцы изделий помещали в морозильную камеру на 2,5 ч. при температуре минус 18±2°С. Затем образцы размести-

ли друг от друга на 20 мм и подвергли оттаиванию. Образцы после насыщения водой осушили тканью и поместили на расстоянии друг от друга и стенок на 20 мм в морозильной камере. Далее включили камеру и начали медленно понижать температуру. Начальная температура замораживания образцов 16°С.

Исследуемые образцы после завершения заморозки положили в ванну и подвергли оттаиванию при температуре плюс 20–22 градуса.

Расчеты:

1. Расчет изменения массы образцов Δm по формуле

$$\Delta m = \frac{m - m_1}{m} \cdot 100,$$

где m – масса образца до замораживания и оттаивания, г;

m_1 – масса образца после замораживания и оттаивания, г.

Среднее максимально допустимое уменьшение массы образцов не должно превышать 2%.

По результатам, представленным в таблице, требованиям соответствуют образцы с концентрацией пигмента 13,3 и 26,6%.

Проверку изделий на водонепроницаемость проводили путем погружения образцов в тару с водой на 24 часа. После прохождения данного времени были сделаны следующие наблюдения:

- образцы не окрашивают поверхности, с которыми взаимодействуют;
- визуально изменений не произошло;
- вода, в которой находились образцы, не имеет изменений в окраске;

Таблица 2

Рецептура приготовления образцов

Пигмент, г	Цемент, г	Песок, г	Вода, мл	Процентное содержание пигмента, %
2	20,05	37,96	15	3,3
4	19,35	36,65	15	6,67
6	18,66	35,34	15	10
8	17,97	34,03	15	13,3
10	17,28	32,72	15	16,67
12	16,59	31,41	15	20
14	15,9	30,10	15	23,3
16	15,21	28,79	15	26,67
18	14,52	27,48	15	30
20	13,82	26,18	15	33,3
22	13,13	24,87	15	36,67
24	12,44	23,56	15	40

— прочностные характеристики образцов, с концентрацией пигмента 3,3, 13,3 и 26,6 % соответствовали требованиям по ГОСТ 10180-90 [22].

Полученные образцы подвергались испытанию на жаропрочность.

Образцы поместили в сушильный шкаф с установленной температурой 50°C на 3 часа. После охлаждения образцов в естественных условиях были сделаны следующие выводы: визуально изменений не было выявлено; при механическом воздействии (рук) не было выявлено разрушений; следов при соприкосновении с поверхностями не оставляют.

Определение прочности изучаемых образцов вели согласно ГОСТ 10180-90.

Исследование образцов бетона на прочность заключается в замере минимальных усилий, разрушающих предварительно приготовленные декоративно-бетонные образцы, приготовленные согласно нормативным документам. Все образцы подвергались изучению прочностных характеристик после того, как были выдержаны при пониженных и повышенных температурах. Образцы декоративного бетона, находясь в покое, подвергались статическому нагружению, увеличение нагрузки происходило постепенно, после было вычислено напряжение при данных условиях и выдвинуты предположения упругой работы полученных материалов. Результаты лабораторных исследований полученных образцов

на прочность после испытаний на жаропрочность и морозостойкость представлены в табл. 4.

Результаты исследований свидетельствуют, что добавление в состав бетонной смеси железистого нанопигмента увеличивает прочность изделий и не изменяет свойств полученных образцов при испытаниях на жаропрочность и морозостойкость. Однако при введении нанопигмента в количестве 40% образцы крошатся.

Пигмент на основе внесенной нанодобавки, помимо красящих свойств, на начальных стадиях смешения заполняет декоративно-бетонный материал, образует центры кристаллизации, так называемые зародыши, далее рост кристаллов, их упрочнение.

Исследования в данной области отмечают, что получающиеся наночастицы, состоящие из гидратированной окиси железа, находятся в α -форме.

α -форма гидратированной окиси железа является зародышем, которые инициируют процессы образования кристаллов и участвуют в формировании структурности материала. Это два фактора, которые больше всего влияют на цветовую гамму получаемого нанопигмента. Например, для того чтобы получить более яркие оттенки и добиться чистоты цвета, необходимо получать тонкодисперсные нанопигменты. При укрупнении частиц цвет пигмента становится тусклым. Поэтому следует понимать необходимость предварительного размола перед использованием, так

Таблица 3

Результаты исследований образцов на морозостойкость

Процентное содержание пигмента в образце	Масса образца без испытаний (г)	Масса образца после испытания, (г)	Изменение массы образцов, (г/%)
3,3%	62,2	60,4	2,2/3,5%
13,3%	61,5	60,5	1,0/1,6%
26,6%	60,4	59,7	0,7/1,1%
40%	60,1	58,4	1,7/2,8%

Таблица 4

Результаты исследований образцов на прочность

Количество нанопигмента в образце, г	Процентное содержание пигмента в образце, %	Сжатие (образец до испытаний на жаропрочность и морозостойкость) МПа	Сжатие (образец после испытания на жаропрочность), МПа	Сжатие (образец после испытания на морозостойкость), МПа
0	0	52,6	52,6	52,7
2	3,30	52,2	52,2	52,0
10	16,6	53,9	53,9	53,6
16	26,6	54,0	54,0	54,4
24	40,0	52,2	52,2	52,2

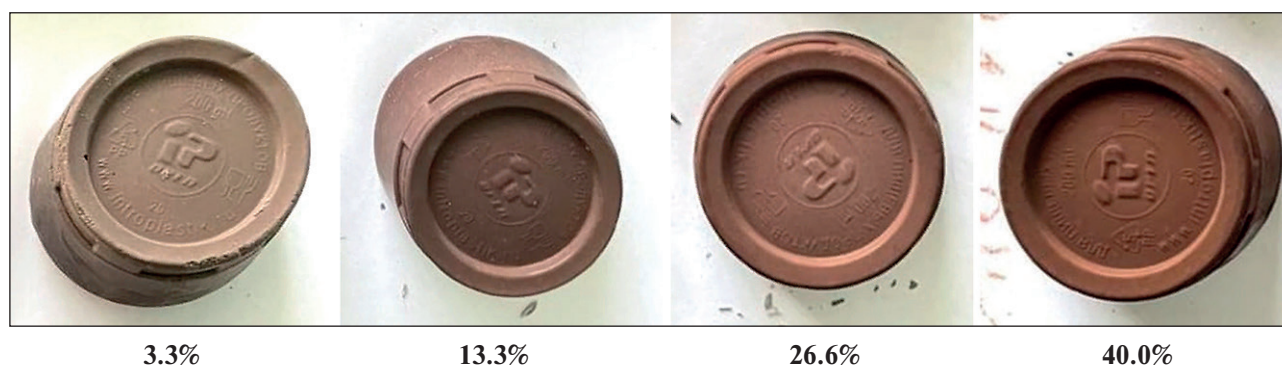


Рис. 1. Образцы бетона, полученные на основе белого цемента с содержанием железоксидного нанопигмента

как не исключены процессы слеживания пигмента. Лабораторные испытания показали, что при формировании шихты с использованием серого цемента внесенный пигмент улучшает эксплуатационные характеристики бетонов. Следует иметь в виду, что наиболее четкие оттенки декоративно-бетонных материалов можно получить лишь при использовании белого цемента. Разница в использовании серого или белого цемента минимальна при получении коричневого либо красного бетона. При получении черного бетона предпочтительней использовать серый цемент.

Согласно статистическим данным, кирпично-красный оттенок декоративно-бетонных материалов обладает наибольшим спросом среди потребителей. Полученный нами на основе оксида железа нанопигмент является наиболее перспективным с точки зрения его производства в промышленных масштабах. Получить образцы с достаточно интенсивной окраской возможно уже при незначительном его содержании (3–4 %). Данный факт, несомненно, обладает экономической привлекательностью с точки зрения его практического применения (рис. 1).

Согласно проведенным исследованиям, по интенсивности окраски все образцы могут быть предложены потенциальным потребителям в зависимости от их предпочтений.

ОБСУЖДЕНИЕ

Получение железоксидного нанопигмента из отходов процессов дегидрирования олефинов дает возможность не только снизить экологическую нагрузку, но и получить ценный продукт – красящий пигмент, широко применяемый в производстве строительных материалов. При введении железоксидного пигмента в состав бетонной шихты для про-

изводства декоративно-бетонных изделий удалось получить следующие результаты:

- введение в бетонную смесь железоксидного нанопигмента кирпично-красного цвета в количестве от 3,3 до 23,0% сопровождается увеличением прочности до 53–54 МПа, тогда как прочностные характеристики бетонных изделий без введения пигмента оказались менее прочными;
- введение в бетонную смесь железоксидного нанопигмента позволило снизить расход сырья;
- варьированием процентного содержания красящего пигмента возможно регулировать интенсивность цвета в соответствии с требованиями потребителя.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе показана возможность применения железоксидного нанопигмента как красящей добавки, улучшающей прочностные характеристики декоративно бетонных изделий. Установлено, что при добавке железоксидного нанопигмента от 16...26% удастся получить образцы с наилучшими прочностными характеристиками декоративно-бетонных изделий. Кроме того, снижение затрат на покупку цемента класса В25 при добавлении в бетонные смеси позволит увеличить твердение и прочность за счет введения железоксидного нанопигмента до 26%.

Актуальна организация производства в промышленных масштабах железоксидных нанопигментов на основе отходов нефтехимических процессов для применения их не только в качестве красящих и прочностных добавок в производстве декоративно-бетонных изделий, но и при производстве других строительных материалов в промышленных масштабах с использованием региональных ресурсов.

Исследование выполнено в рамках программы Министерства науки и высшего образования Российской Федерации «ПРИОРИТЕТ 2030» (Национальный проект «Наука и университет»)

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. ASTM C979 Standard Specification for Pigments for Integrally Colored Concrete.
2. Пискарев В.А. Декоративно отделочные строительные материалы. М.:Высшая школа, 1977. 213с.
3. Boev E.V., Islamutdinova A.A., Aminova E.K. Development of technology for obtaining anticorrosive nanostructured polyalkenylamide-succinimide coatings in construction. *Nanotechnologies in Construction*. 2023; 15(1):6–13.
4. Boev E.V., Islamutdinova A.A., Aminova E.K. Method of obtaining calcium silicate for construction. *Nanotechnologies in Construction*. 2021; 13(6):350–357.
5. Boev E.V., Islamutdinova A.A., Aminova E.K. Obtaining the retainer for waterproofing road bitumens. *Nanotechnologies in Construction*. 2021; 13(5):319–327.
6. Brunauer S., Grenberg S. A. *Chemistry of Cement*; 1960.
7. Шинкареева Е.В., Кошевар В.Д., Жигалова О.Л., Зонов Ю.Г. Использование промышленных отходов при получении керамических пигментов // Стекло и керамика. 2006. № 12. С. 26-28.
8. Герасимов Л.Г., Лазарев И.В., Алексеев А.И., Галтнурова Л.А. Пигменты и наполнители из техногенных отходов // Строительные материалы. 2002. № 4. С. 32-34.
9. Седелникова М.Б., Погребенков В.М., Горбатенко В.В., Коуцман Е.Я. Керамические пигменты для строительной керамики // Стекло и керамика. 2009. №9. С. 3-7.
10. Белов Н.В. Очерки структурной минералогии. М.: Недра, 1976. 344 с.
11. Шаяхметов Р.З., Яковлев В.В. Строительные пигменты из шламов водоочистки // Строительные материалы. 2008. Т 12. С. 32-33.
12. EN 12878:2005 Pigmente zum Einfarben von zement und / oder kalkgebundenen Baustoffen. Anforderungen und Prüfverfahren.
13. Пин В.М., Boev E.V., Islamutdinova A.A., Aminova E.K. Development of heavy metal-based nanostructured complex technology for use in building mortar. *Nanotechnologies in Construction*. 2022. 14(5):398–404.
14. Баженов Ю.М. Технология бетона. М.: АСВ, 2007.
15. Белан В.И. Цветные цементы и их производство в Новосибирской области / В.И. Белан // Экология и ресурсосбережение в материаловедении. Новосибирск. 2000. С. 8–10.
16. Боженков П.И., Холопова Л.И. Цветные цементы и их применение в строительстве. Л. 1968.
17. Вилков С.М. Исследование процесса высолообразования при гидратации декоративного портландцемента и разработка методов его снижения : автореф. дис. канд. техн. наук. Свердловск, 1979.
18. Воронин В.В. Морозостойкость и технология бетона с модифицированным поверхностным слоем. Автореф. дис. д-ра техн. наук. М., МИСИ им. В.В. Куйбышева, 1985.
19. ГОСТ 16872–78 Пигменты неорганические. Методы определения относительной красящей способности
20. *Decorative concretes using local materials and industrial waste for small architectural forms* / N.I. Slesareva, G.D. Kovalenko, V.A. Krasnyuk. Overview information of the Ministry of Housing and Communal Services. М.; 1986 (3).
21. ГОСТ 24211-2008 Добавки для бетонов и строительных растворов.
22. ГОСТ 10180-90 Методы определения прочности по контрольным образцам.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Аминова Эльмира Курбангалиевна – кандидат химических наук, доцент, доцент кафедры «Общая химическая технология», Институт химической технологии и инжиниринга Уфимского государственного нефтяного технического университета в г. Sterlitaмаке, Башкортостан, Россия, k.elmira.k@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3105-3477>

Касьянова Лилия Зайнулловна – кандидат химических наук, доцент, доцент кафедры «Общая химическая технология», Институт химической технологии и инжиниринга Уфимского государственного нефтяного технического университета в г. Sterlitaмаке, Башкортостан, Россия, kasyanova-liliya@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1831-2793>

Исламутдинова Айгуль Акрамовна – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Общая химическая технология», Институт химической технологии и инжиниринга Уфимского государственного нефтяного технического университета в г. Sterlitaмаке, Башкортостан, Россия, aygul_ru@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3104-2097>

Асфандиярова Лилия Рафиковна – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Общая химическая технология», Институт химической технологии и инжиниринга Уфимского государственного нефтяного технического университета в г. Sterlitaмаке, Башкортостан, Россия, asfand_liliya@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8328-201X>

ВКЛАД АВТОРОВ

Аминова Э.К. – литературный обзор; проведение экспериментальной части.

Касьянова Л.З. – научное руководство; итоговые выводы.

Исламутдинова А.А. – концепция исследования; написание исходного текста.

Асфандиярова Л.Р. – обработка и анализ экспериментальных данных.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 30.09.2023; одобрена после рецензирования 27.10.2023; принята к публикации 02.11.2023.