

УДК 628.162.1.004.68:691

ЛУКАШЕВИЧ ОЛЬГА ДМИТРИЕВНА, докт. техн. наук, профессор,
odluk@yandex.ru
Томский государственный архитектурно-строительный университет,
634003, г. Томск, пл. Соляная, 2

ПОЛУЧЕНИЕ ЦВЕТНОГО БЕТОНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПИГМЕНТОВ ИЗ ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩИХ ШЛАМОВ ВОДОПОДГОТОВКИ

Рассмотрена возможность объемного окрашивания бетона с использованием пигментов, полученных из техногенного сырья – отходов водоподготовки. Исследовано влияние на свойства окрашенного мелкозернистого бетона железистых пигментов – продуктов глубокой переработки отходов станции обезжелезивания Томского водозабора из подземных источников. Экспериментально установлено, что пигменты из отходов водоподготовки характеризуются хорошими технологическими качествами: однородностью состава, высокой степенью дисперсности и диспергируемости. Получены хорошие характеристики по прочности и морозостойкости окрашенного мелкозернистого бетона.

Ключевые слова: железистый пигмент; отходы водоочистки; утилизация отходов; мелкозернистый бетон; прочность при сжатии.

OLGA D. LUKASHEVICH, DSc, Professor,
odluk@yandex.ru
Tomsk State University of Architecture and Building,
2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia

CONCRETE PIGMENTED WITH IRON-OXIDE PIGMENTS OBTAINED FROM SEWAGE SLUDGE

The paper presents the possibility of concrete pigmentation using pigments obtained from sewage sludge. The iron-oxide pigments, the derivative product of sewage sludge utilization are investigated, in particular, their effect on the properties of fine-grained concrete. Sewage sludge is produced by the water-treatment plant and taken from water collection filters of Tomsk groundwater sources. Experiments show that these pigments are characterized by such working qualities, as uniformity, high dispersion, and dispersive ability. Good strength properties of fine-grained concrete are proved as well as its frost resistance.

Keywords: iron-oxide sludge; sewage sludge; sewage sludge utilization; fine-grained concrete; compressive strength

Решение проблем, связанных с ресурсосбережением и оздоровлением экологической обстановки путем вовлечения отходов в сырьевую базу строительной отрасли, – актуальное направление в строительном материаловедении. При очистке подземных вод с высоким содержанием железа, характерным для районов Севера, Сибири и Дальнего Востока, в промышленности и ЖКХ образуется значительное количество шламов, основу которых составляют железосодержащие окисно-гидроксидные соединения. По химическому составу и физико-химическим характеристикам эти вещества являются анало-

гами природных минералов, пригодных для получения пигментов, с древних времен использовавшихся человеком для получения цветных наскальных изображений, фресок, черепицы, посуды.

Технология получения из техногенного сырья – отходов водоподготовки – железоксидных пигментов широкой цветовой гаммы, пригодных для производства декоративных сухих строительных смесей, используемых для окрашивания силикатного кирпича, наливных полов, штукатурки, глиняной (керамической) черепицы, полимерпесчаной черепицы и других строительных материалов, уже разработана [1–3].

В данной статье рассмотрены вопросы получения цветного мелкозернистого бетона с использованием железоксидных пигментов, представлены результаты исследования влияния различных факторов на его окраску и прочностные характеристики на примере образцов из окрашенного и неокрашенного бетона, приготовленных с использованием серого и белого цемента.

Характеристика исходных материалов и методов исследования

В качестве вяжущих использовали серый цемент марки ПЦ500Д0 и белый цемент М250 Топкинского цементного завода, удовлетворяющие требованиям ГОСТ 17608–91, ГОСТ 6665–91. Мелким заполнителем служил речной песок Асиновского месторождения Томской области с содержанием SiO_2 94 %, относящийся к группе мелких песков с модулем крупности $M_k = 1,5–2,0$.

Для приготовления пигмента использовался железосодержащий шлам (ЖСШ), выделенный из промывной воды скорых фильтров станции обезжелезивания Томского водозабора из подземных источников. В среднем валовом составе ЖСШ преобладал оксид железа (40–45 %), содержались также оксиды кремния (2,5–5,4 %), кальция (3,0–4,0 %) и магния (2,0–4,8 %). В исследованиях использовали три вида пигментов: желтый, красно-коричневый и коричневый, полученных по технологии, описанной в патенте РФ № 2471836 [1].

Удельную поверхность железосодержащего шлама и пигментов определяли на приборе NOVA 2200-е методом БЭТ (Брунауэра – Эммета – Теллера) по низкотемпературной адсорбции азота.

Состав образцов анализировали с использованием общепринятых методов на основе гравиметрии, титриметрии, ионометрии, рентгенофазового анализа. Оборудование: дифрактометр ДРОН-3М с рентгеновской трубкой БСВ-24 с $\text{CuK}\alpha$ -излучением ($2\theta = 10–90$ град), чувствительность съемки 1000, 2000, скорость вращения гониометра 4 град/мин, напряжение анод-катод 35 кВ, анодный ток 25 мА. Для расшифровки рентгенограмм определяли значения межплоскостных расстояний и относительных интенсивностей рефлексов соединений согласно литературным источникам и электронным картотекам. Определение микроструктурных характеристик исследуемых объектов осуществляли с помощью растрового электронного микроскопа Philips SEM 515, оснащенного микроанализатором EDAX Genesis.

Образцы готовили из сырьевой смеси цемента и песка с соотношением 30:70. Пигмент вводили в количестве 2, 3, 4 и 5 % от массы цемента. Исходные компоненты перемешивались в сухом виде, затем затворялись водой

в соответствии со стандартными методиками. Водотвердое отношение варьировали, в среднем оно составляло 0,2. Изделия из мелкозернистого бетона готовили методом объемного вибропрессования. Изготавливались окрашенные и непигментированные, а также контрольные образцы – кубы со стороной 30 мм и балочки размером 40×40×160 мм для испытаний на прочность и морозостойкость. Для каждого состава готовили серию из 16 образцов. Сформованные образцы в течение 20 ч твердели в ванне с гидравлическим затвором. Часть образцов каждого состава извлекалась, они пропаривались 4 ч при 95 °С. Цвет и прочность определяли сразу после пропаривания, другие образцы возвращали в ванну с гидравлическим затвором, где выдерживали в течение 28 сут для сравнения с образцами, твердеющими при нормальных условиях.

Испытания контрольных образцов на сжатие по ГОСТ 10180–90 производилось в возрасте 1, 7 и 28 сут. Испытания образцов на изгиб осуществлялось по ГОСТ 10180–90, на морозостойкость – по ГОСТ 10060.2–95.

Приготовление железоксидных пигментов и изучение их технологических характеристик

Наблюдается прямая зависимость между цветом, химическим и фазовым составом железоксидных пигментов, что во многом определяется температурой обработки и скоростями выделения и обработки осадка (табл. 1) [4, 5].

Таблица 1

Пигменты на основе природных железоксидных минералов и их окраска

Минерал	Цвет пигмента
Гематит $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$	Красный
Черный Fe_3O_4	Магнетит
Желтый $\alpha\text{-FeOOH}$	Гетит
Коричневый $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$	Маггемит
Оранжевый $\gamma\text{-FeOOH}$	Лепидокрокит

Цветовые оттенки комбинаций, составленных из полученных железоксидных пигментов, ориентируются на цвета, гармонирующие с красками природы (зеленю растительности, цветом земли и т. д.), что обеспечивает возможность вписывания изделий из цветного бетона в окружающую среду (городскую, рекреационную, производственную):

- желтый (от зеленовато-желтого до красновато-желтого);
- красный (от желтовато-красного до кирпично-красного);
- коричневый (от светло-коричневого до темно-коричневого);
- черный: (от темно-серого до антрацитового).

Процесс образования оксидно-гидроксидных форм железа с разным стехиометрическим составом и структурой при выделении из железистой природной воды с последующим просушиванием и прокаливанием может быть представлен схемой на рис. 1 (участие кислорода и воды, термообработка подразумеваются, но в явном виде на схеме не показаны).

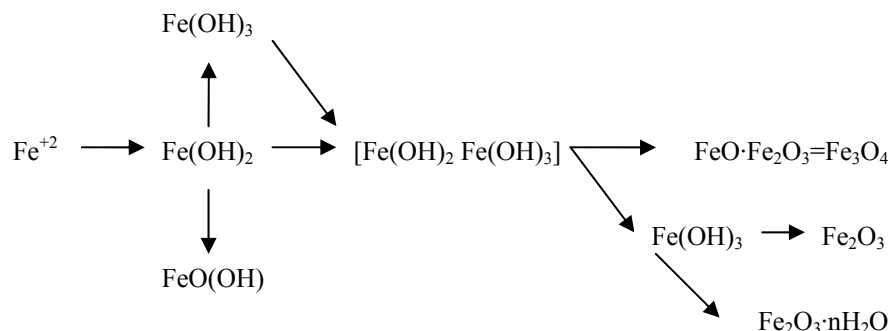


Рис. 1. Процессы, протекающие при образовании разных типов железооксидных пигментов

Основные направления реакций включают переход свободных ионов двухвалентного железа, содержащихся в природной подземной воде, в Fe(OH)_2 , который практически сразу в присутствии кислорода окисляется с образованием соответствующих, в зависимости от условий, оксидно-гидроксидных форм. При температурной обработке к указанным в схеме (рис. 1) процессам добавляются разнообразные фазовые переходы, что показано нами в работе [6].

Известно, что частицы тонкодисперсного гидрата окиси железа α -формы (а именно такие частицы выделяются при обезжелезивании воды) играют роль зародышей, инициирующих процессы кристаллообразования и структуризации [7, 8]. Оба эти фактора влияют на окраску и оттенки синтезируемого пигмента. Так, яркость и чистота цвета зависят от размеров частиц: укрупнение их размеров ведет к постепенному потемнению продукта. Таким образом, в случае слеживания пигмента необходимо дополнительное измельчение его перед использованием (например, на шаровой мельнице).

Эксперименты показали, что положительным качеством пигментов является проявление ими хороших показателей при использовании серого цемента. Однако чистые оттенки бетона (например, желтый) можно получить, применяя белый цемент. Незначительная разница в цветах наблюдается при получении коричневого и красного бетона: чем светлее и чище желаемый цвет, тем больше необходимо включить белого цемента в сырьевую смесь; для получения черного бетона различий в использовании серого или белого цемента нет.

Кирпично-красный пигмент оказался наиболее перспективным для практического применения в производстве цветных материалов и изделий. Он позволяет добиться достаточно интенсивной окраски изделий при относительно невысоком его содержании (3–4 %), что делает привлекательным экономический аспект его практического использования (рис. 2).

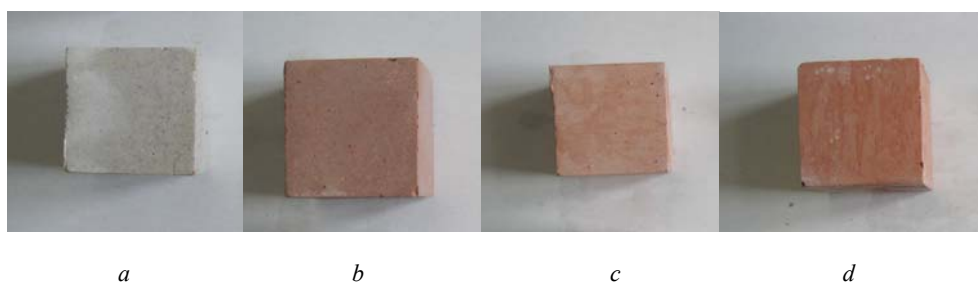


Рис. 2. Образцы мелкозернистого бетона, полученные на основе белого цемента с содержанием железоксидного пигмента в количестве 0 (a), 2 (b), 3 (c), 4 (d) %

Влияние состава цементного теста и условий его приготовления на цветовые характеристики пигментированного бетона

На цвет полученных из окрашенного цемента изделий (тротуарной плитки, черепицы, бордюра) кроме качеств используемого пигмента влияет также собственный цвет наполнителей. Пигмент окрашивает только цементное тесто, а наполнитель сохраняет исходный цвет. В процессе приготовления сырьевой смеси зерна наполнителя (например, песка, а он может иметь оттенки от светло-желтого до коричневатого) не полностью обволакиваются цементным тестом. Кроме того, уже на стадии эксплуатации изделия из цветного бетона под воздействием климатических условий происходит обнажение зерен наполнителя, выступающих на поверхность. В результате зрительно воспринимается аддитивный цвет (окрашенного цементного камня и видимых зерен наполнителя). Эти выводы были сделаны на основании трехлетних наблюдений за опытными образцами тротуарной плитки и черепицы, находящихся вне помещения и испытывающих воздействие со стороны низких (до $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$) температур и резких их колебаний, повышенной влажности, попадания прямых солнечных лучей.

Влияние водоцементного отношения на цвет бетона связано, как известно, с характером рассеивания падающего света теми порами, которые образовались после испарения избыточной воды затворения [9]. Таким образом, чем выше использовавшееся водоцементное отношение, тем светлее выглядит бетон. Эта закономерность наблюдалась при экспериментальной проверке характеристик окрашенного мелкозернистого бетона пигментами – продуктами переработки отходов водоподготовки. Установлено, что на оттенки и физико-механические свойства получаемых образцов влияет дозировка воды затворения. Высокая влажность бетона имеет следствием образование цементного молока на поверхности изделия, что искажает желаемый его цвет.

Экспериментально показано, что «разбавление» окрашенного цементного теста неокрашенным наполнителем – кварцевым песком приводит к снижению интенсивности окраски полученного бетона. При одинаковой степени пигментирования бетон с более высоким содержанием цемента окрашен более ярко.

Для получения изделий из цветного бетона высокого качества, как известно, большую роль играет точное дозирование и равномерное распределе-

ние пигмента в материале. При изготовлении опытно-промышленных образцов тротуарной плитки сухие компоненты сырья (пигмент, песок, цемент) тщательно перемешивались (не менее 2 мин, в зависимости от объема смеси) для достижения высокой степени гомогенности. Рекомендуется технологический режим, включающий стадии: смешивание песка с пигментом в течение 2–3 мин, добавление цемента и дополнительное перемешивание в течение 2–3 мин, подача воды (предпочтительно – распылением) и снова – двухминутное перемешивание.

Представляло интерес изучить влияние условий твердения на полученную окраску бетона. Размер кристаллов цементного камня, формирующихся после затворения, влияет на рассеяние света и, соответственно, воспринимаемый глазом цвет. С ростом температуры увеличивается доля мелких игольчатых кристаллов, придающих бетону более светлый оттенок. Сравнение цвета образцов бетона, отвержденного пропариванием, с бетоном, отвержденным при комнатной температуре, показало слабые различия. В то же время физико-механические свойства образцов различались (рис. 3, 4).

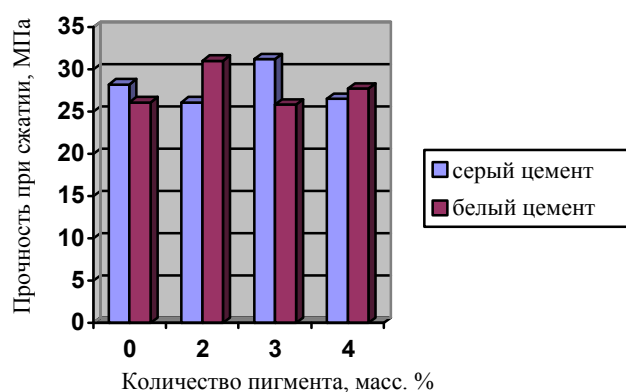


Рис. 3. Результаты испытаний прочности пропаренных образцов бетона из серого и белого цемента с различным содержанием пигмента и контрольного образца после 28 сут твердения

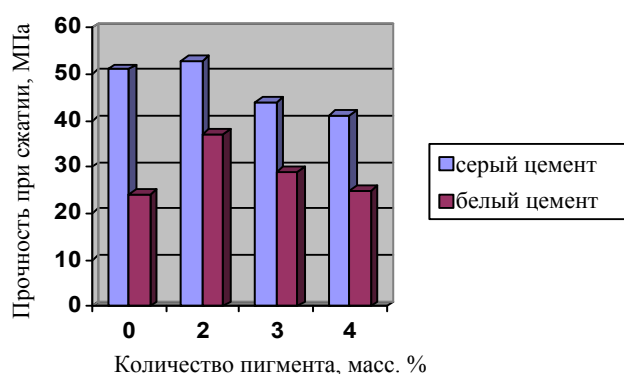


Рис. 4. Результаты испытаний прочности непропаренных образцов с различным содержанием пигмента и контрольного образца после 28 сут твердения

Влияние состава цементного теста и условий его приготовления на прочность и морозостойкость пигментированного бетона

Важно изучить влияние количества пигмента, полученного из отходов водоподготовки, на прочностные характеристики образцов окрашенного мелкозернистого бетона, приготовленных на основе серого и белого цемента. Очевидно, что использование белого цемента позволяет получить более яркие оттенки цветов при окрашивании, однако экономически более выгодно добиться высокого эффекта с использованием дешевого серого цемента.

Исследованию влияния пигментов на эксплуатационные характеристики окрашенного бетона посвящены единичные работы. Так, авторы статьи [8] отмечают, что в нашей стране не утверждены государственные стандарты, регламентирующие окрашивание бетона и строительных материалов на основе портландцемента. Обычно встречается информация рекомендательного характера с указанием о количестве пигмента (5 % и более по отношению к массе цемента), при этом, главным образом, превалирует задача получения необходимой окраски и её устойчивости, но не обеспечения высоких прочностных характеристик. В то же время за рубежом действуют стандарты [10, 11], устанавливающие регламент испытаний, пределы влияния пигментов на характер твердения цемента и прочность полученного цементного камня. Очевидно, необходима гармонизация российского технического законодательства.

Среди полученных железоксидных пигментов наиболее перспективным для окрашивания бетона является красный, в меньшей степени – желтый. Желтый пигмент, как показал рентгенофазовый анализ [6], в своем составе имеет кальцит, гетит и α -гидрогетит, что обусловлено низкотемпературными условиями его получения. Количество гидратной воды в нем в пределах 10 %, удельная поверхность относительно высокая: 70–80 м²/г, размер частиц около 12 нм. Форма и размер частиц зависят от температурного режима, окислительно-восстановительных условий, скорости протекания химических реакций и влияют на оттенки цвета пигмента. Все вышеперечисленные физико-химические характеристики обуславливают способность частиц хорошо поглощать своей поверхностью воду. При введении в бетон более 5 % желтого пигмента адсорбируемая им вода вызывает снижение водоцементного соотношения, что, соответственно, приводит к изменению консистенции окрашенного цементного теста по сравнению с неокрашенным. Чтобы получить тот же показатель распыла теста, что и без применения пигмента, требуется дополнительное количество воды, а это может снизить прочность бетона. С этим связан меньший интерес к желтому пигменту в сравнении с красным и коричневым.

Установлено, что прочность образцов в возрасте 28 сут с добавлением 2–3 % пигмента возрастает по сравнению с беспигментным бетоном. Пигмент играет не только окрашивающую роль (табл. 2), но и служит заполнителем, частицы которого в первые сутки выступают в качестве центров кристаллизации, что способствует иницированию зародышей, ускорению роста кристаллов, упрочнению структуры. Ранее нами была показана многофункциональная

положительная роль железистого пигмента при формировании контактов срастания (в том числе за счет образования гидросиликатов кальция) в жидко-стекольных композициях [12]. Присутствие пигмента оказывает влияние и на дальнейшие стадии твердения. Можно согласиться с авторами [8], что частицы пигмента вблизи себя обеспечивают эффект «маганизирования» воды, ускоряющий образование кристаллогидратов за счет более близкого расположения воды.

Таблица 2

Результаты испытаний прочности образцов мелкозернистого бетона из серого цемента и песка с различным содержанием красного пигмента

№ состава	Количество пигмента, %	В/Т	Прочность при сжатии, МПа			Цвет
			Пропаренные	28 суток, пропар.	28 суток, нормальное твердение	
1	0	0,2	25,4	28,2	51,5	Серый
2	2	0,2	26,4	26,1	52,8	Серо-розовый (бледный)
3	3	0,21	21,9	26,6	44,6	Серо-розовый
5	4	0,21	19,1	31,2	40,9	Светло-красный
6	8	0,22	17,6	26,5	33,1	Красный

При 4%-м содержании пигмента достигается достаточно высокая окрашивающая способность при незначительном снижении прочности. Более высокое содержание пигмента неоправданно ввиду существенной потери прочности. Это может быть связано со следующим установленным в работе [12] фактором. Расположенная возле частиц пигмента вода после протекания соответствующих химических реакций дает воздушные поры – центры напряжения, снижающие прочность твердеющей структуры. При низком содержании пигмента эти поры постепенно заполняются новообразованными микрочастицами клинкерных минералов. Однако превышающее 4 % содержание пигмента вызывает сброс прочности образцов мелкозернистого бетона. Кроме указанной выше причины, связанной с образованием в микропорах новых структур, создающих внутренние напряженные состояния, этому могут быть и другие причины.

Образцы непигментированных и объемно-окрашенных красным пигментом (5 %) тротуарных плит, изготовленные на предприятии ООО «Аква-Том» (рис. 5), прошли испытания на прочность и морозостойкость в аккредитованной лаборатории центра «Стромтест» ТГАСУ.



Рис. 5. Непигментированный и окрашенный с использованием кирпично-красного пигмента на основе шлама водочистки образцы тротуарной плитки

Результаты испытаний (табл. 3) показали, что пигментированные тротуарные плиты по прочности при сжатии соответствуют классу В20, имеют марку морозостойкости F200 и соответствуют требованиям ГОСТ 17608–91.

Таблица 3

Результаты испытаний образцов тротуарных плит

Наименование показателя	Требования стандарта	Контрольные образцы	Окрашенные образцы
Внешний вид	Незначительные изменения внешнего вида	Удовлетворительный	Поверхность без изменений, цвет однородный красный
Прочность при сжатии, МПа	—	28,46	28,04
Морозостойкость, марка	F200	F200	F200

Полученные нами положительные результаты пигментирования согласуются с литературными данными. Авторами [4, 8] показано улучшающее влияние добавок железоксидных пигментов на прочность, морозостойкость. Указывается на понижение концентрации растворимых соединений в цементной смеси, колюматирование пор, повышение плотности цементного камня при использовании на Челябинском заводе ЖБИ-1 железоксидного пигмента, полученного из отходов местных металлургических предприятий; установлено также уменьшение высолообразования на 35–50 % при снижении пористости на 3–5 % [4]. Подобный эффект описан в работе [8]: при изготовлении цветного мелкозернистого бетона с добавлением 5 % железоксидного пигмента из отходов асбестовых руд наблюдалось увеличение прочности бетона без ухудшения его эксплуатационных характеристик, причем пигменты из отходов по сравнению с зарубежными аналогами имели технологические преимущества. Пигменты проявляли лучшую диспергируемость, что позволяло получить более равномерную окраску, обеспечивали снижение высолообразования.

Выводы

Железооксидные пигменты из природного сырья обладают высокими цветовыми и технологическими характеристиками, долговечностью. Однако широкое их применение сдерживается нехваткой высококачественного сырья, большими затратами на поиск и разработку месторождений, на доставку из удаленных мест добычи минералов.

Показана принципиальная возможность утилизации железосодержащего шлама водоочистки в получении железооксидных пигментов, пригодных для использования в строительной отрасли.

Экспериментальная проверка в условиях, максимально приближенных к производственным, показала, что введение пигмента кирпично-красного цвета в количестве 4–5 % в цементно-песчаную смесь на основе серого цемента позволяет получить образцы, имеющие насыщенный светло-красный цвет и удовлетворяющие нормативным требованиям на прочность и морозостойкость.

Изделия из цветного бетона способны преобразить серые городские кварталы, а утилизация отходов водоподготовки решает одновременно экологические и экономические проблемы, связанные с растущим техногенным прессингом на окружающую среду.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пат. 2471836 Российская Федерация, МПК (2006.01) C09C1/24. Способ получения железооксидных пигментов / Лукашевич О.Д., Усова Н.Т., Герб Л.В., Гончаров О.Ю. № 2011125988, заявл. 23.06.2011 ; опубл. 10.01.2013, Бюл. № 1.
2. Пат. 114683 Российская Федерация, МПК (2006.01) C09C1/24. Установка для получения железооксидного пигмента из шлама станции водоподготовки / Лукашевич О.Д., Усова Н.Т., Кутугин В.А., Торопков Н.Е. № 2011145354, заявл. 08.11.2011 ; опубл. 10.04.2012. Бюл. № 10.
3. *Использование вторичных продуктов водоподготовки в производстве железооксидного пигмента для строительных материалов* / О.Д. Лукашевич, Н.Т. Усова, В.А. Кутугин, В.А. Лотов // Вода: технология и экология. – 2011. – № 2. – С. 30–38.
4. *Краснобай Н.Г. Производство железооксидных пигментов для строительства* / Н.Г. Краснобай, Л.П. Лейдерман, А.Ф. Кожевников // Строительные материалы. – 2001. – № 8. – С. 19–25.
5. *Беленький Е.Ф. Химия и технология пигментов* / Е.Ф. Беленький, И.В. Рискин. – Л. : Химия, 1974. – 656 с.
6. *Усова, Н.Т. Получение пигментов из железосодержащих шламов водоподготовки для использования в строительной отрасли* / Н.Т. Усова, О.Д. Лукашевич // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2014. – № 4. – С. 198–207.
7. *Кузнецова, Т.В. Физическая химия вяжущих материалов: учебник для хим.-технол. спец. вузов* / Т.В. Кузнецова, И.В. Кудряшов, В.В. Тимашев. – М. : Высш. шк., 1989. – 384 с.
8. *Носков, А.С. Влияние железооксидных пигментов на физико-механические свойства бетона* / А.С. Носков, В.С. Руднов, В.А. Беляков // Академический вестник УРАЛНИИПРОЕКТ РААСН. – 2013. – № 2. – С. 82–85.
9. *Баженов, П.И. Цветные цементы и их применение в строительстве* / П.И. Баженов, Л.И. Холопова. – Л. : Строительство, 1968. – 268 с.
10. *EN 12878:2005 Pigmente zum Einfärben von zement und/oder kalkgebundenen Baustoffen. Anforderungen und Prüfverfahren.*

11. СТБ EN 12878–2009. Пигменты для строительных материалов на основе цемента и/или извести. Технические условия и методы испытаний. – Минск : Госстандарт. – 2009.
12. Усова, Н.Т. Водостойкие безавтоклавные силикатные строительные материалы на основе песка, жидкостекольных композиций и шламов водочистки / Н.Т. Усова, В.А. Лотов, О.Д. Лукашевич // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2013. – № 2. – С. 276–284.

REFERENCES

1. Lukashevich O.D., Usova N.T., Gerb L.V., Goncharov O.Yu. Spособ polucheniya zhelezooksidnykh pigmentov [Production technique for iron-oxide pigments]. Pat. Rus. Fed. N 2471836. 2011.
2. Lukashevich O.D., Usova N.T., Kutugin V.A., Toropkov N.E. Ustanovka dlya polucheniya zhelezooksidnogo pigmenta iz shlama stantsii vodopodgotovki [Installation for sewage sludge production from the water-treatment plant]. Pat. Rus. Fed. N 114683. 2011.
3. Lukashevich O.D., Usova N.T., Kutugin V.A., Lotov V.A. Ispolzovanie vtorichnih produktov vodopodgotovki v proizvodstve zhelezooksidnogo pigmenta dlja stroitel'nykh materialov [Water treatment by-products used in iron-oxide pigment production]. *Voda: tekhnologiya i ekologiya*. 2011. No. 2. Pp. 30–38. (rus)
4. Krasnobai N.G., Leiderman L.P., Kozhevnikov A.F. Proizvodstvo zhelezooksidnykh pigmentov dlya stroitel'stva [Iron oxide pigment production in construction]. *Construction Materials*, 2001. No. 8. Pp. 19–25. (rus)
5. Belen'kii E.F., Riskin I.V. Khimiya i tekhnologiya pigmentov [Pigment chemistry and technology]. Leningrad: Khimiya, 1974. 656 p. (rus)
6. Usova N.T., Lukashevich O.D. Poluchenie pigmentov iz zhelezosoderzhashchikh shlamov vodopodgotovki dlya ispolzovaniya v stroitel'noy otrasli [Pigments produced from iron-containing sludge and their use in construction industry]. *Vestnik TSUAB*. 2014. No. 4. Pp. 198–207. (rus)
7. Kuznetsova T.V., Kudryashov I.V., Timashev V.V. Fizicheskaya khimiya vyazhushchikh materialov: Uchebnik dlya khim.-tekhnol. spets. vuzov [Physical chemistry of binding materials. Textbook]. Moscow : Vysshaya Shkola Publ., 1989. 384 p. (rus)
8. Noskov A.S., Rudnov V.S., Belyakov V.A. Vliyanie zhelezooksidnykh pigmentov na fiziko-mekhanicheskie svoystva betona [The effect of iron-oxide pigments on physical-and-mechanical properties of concrete]. *Akademicheskii vestnik UralNII proekt RAASN*. 2013. No. 2. Pp. 82–85. (rus)
9. Bazhenov P.I., Kholopova L.I. Tsvetnye tsementy i ikh primenenie v stroitel'stve [Pigmented cements and their application in construction]. Leningrad : Stroitel'stvo Publ., 1968. 268 p. (rus)
10. EN 12878:2005 Pigmente zum Einfarben von zement und/oder kalkgebundenen Baustoffen. Anforderungen und Prüfverfahren.
11. EN 12878–2009 Pigmenty dlya stroitel'nykh materialov na osnove tsementa i/ili izvesti. Tekhnicheskie usloviya i metody ispytaniy [Pigments for construction materials based on cement and/or lime. Specifications and test methods]. Minsk : Gosstandart Publ., 2009. (rus)
12. Usova N.T., Lotov A., Lukashevich O.D. Vodostoikiye bezavtoklavnye silikatnye stroitel'nye materialy na osnove peska, zhidkostekol'nykh kompozitsii i shlamov vodoochistki [Water-resistant non-autoclave silicates based on sand, sodium silicate compositions and sewage sludge]. *Vestnik TSUAB*, 2013. No. 2. Pp. 276–284. (rus)