

Переработка железосодержащих пылевидных отходов металлургического производства в пигмент для окраски строительных материалов

© Федосеев^{1*} Виктор Борисович, Зорин² Аркадий Данилович,
Федосеева²⁺ Елена Николаевна, Занозина^{2*} Валентина Федоровна
и Жебряков² Евгений Владимирович

¹ Кафедра материаловедения физического факультета. Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского. Пр. Гагарина, 23, корп.3. г. Нижний Новгород, 603950. Россия. Тел.: (831) 465-81-66. E-mail: vbfedosseev@yandex.ru

² Лаборатория прикладной химии и экологии. Научно-исследовательский институт химии. Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского. Пр. Гагарина, 23, корп.5. г. Нижний Новгород, 603950. Россия. Тел.: (831) 465-81-66. E-mail: enfedosseeva@front.ru

*Ведущий направление; +Поддерживающий переписку

Ключевые слова: железоксидный пигмент, железосодержащая пыль, силикатный кирпич, окрашивание.

Аннотация

Проведен сравнительный анализ состава отходов металлургических производств Нижегородской области. Разработаны основы технологии изготовления железоксидного пигмента из отходов железосодержащих пылей, используемых в качестве сырья. Исследованы прочностные свойства силикатного кирпича, окрашенного полученным пигментом. Показано, что по прочностным характеристикам окрашенные кирпичи удовлетворяют требованиям стандартов на силикатные материалы.

Введение

Ежегодно на территориях предприятий металлургической, машиностроительной и химической промышленности страны складываются сотни тысяч тонн твёрдых отходов, содержащих от 15 до более 90 % масс. железа. В мировой практике вовлечение подобных отходов в промышленные циклы в несколько раз превышает уровень их использования в Российской Федерации. Разработка технологий, позволяющих заменить традиционное сырьё подходящими промышленными отходами, актуальна.

Из известных способов рециклинга железосодержащих пылей и шламов можно назвать получение брикетов, используемых как замещающее сырьё в сталеплавильном производстве.

В [1] показано, что подобные технологии чувствительны к способности отхода агломерироваться в крупные куски и агрегаты и усложняются при нестабильности его химического состава или наличия примесей цветных металлов.

Другое направление – это прямое введение пылей в бетонные или асфальто-бетонные смеси [2]. При высоком содержании железа пыль металлургических производств может служить сырьём для производства железоксидных пигментов.

Целью настоящего исследования явился выбор подходящих по составу твёрдых железосодержащих промышленных отходов и изучение возможности получения из них по общей технологической схеме железоксидных пигментов для использования в строительной индустрии.

Результаты и их обсуждение

Из литературных данных [3, 4] известен ряд закономерностей между структурными характеристиками вещества пигментов, морфологией слагающих их частиц и красящими свойствами пигментов.

В работе [4] на основании экспериментальных исследований природных соединений показано, что наиболее важные особенности пигментных руд обусловлены, во-первых, дисперсностью, во-вторых, преимущественно глобулярной морфологией индивидуальных частиц и, в-третьих, низкой степенью кристалличности слагающих руды оксигидроксидных фаз. Увеличение размеров и степени кристаллического совершенства данных фаз ведет к преобразованию сферических форм полуморфных оксигидроксидов (рис. 1) в идиоморфные кристаллические формы кристаллитов α -FeOOH, а следовательно, к превращению ценного пигментного сырья в рядовые бурожелезняковые руды.

Анализ литературных данных [3, 5-9] показывает, что:

- железоксидные пигменты высокого качества изготавливаются из высококачественного сырья, по трудоемким технологиям, с использованием высоких температур (до 1000 °С);
- в строительной индустрии допускается использование железоксидных пигментов более низкого ценового диапазона с облегченными требованиями к характеристикам;
- существующие способы переработки промышленных железосодержащих отходов не по всем типам отходов позволяют вовлечь их в рециклинг;
- железосодержащие отходы в ряде случаев можно переработать в пигментные материалы удовлетворительного качества без применения сложных трудоемких технологий, резко повышающих себестоимость производства.

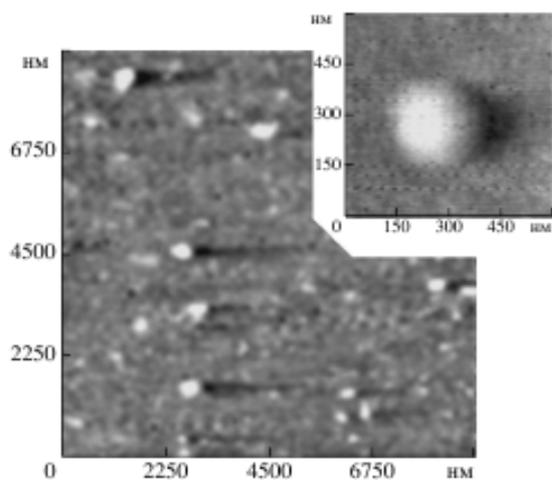


Рис. 1. Изображение частиц оксигидроксида железа природных коричневых пигментных руд, полученное с помощью атомно-силовой микроскопии. На врезке – увеличенное изображение одной частицы [4].

ных процессах, исследовали их количественный химический состав (табл. 1).

Анализ представленного в табл. 1 компонентного состава исследуемых отходов показал следующее. В проанализированных образцах содержание железа очень сильно отличается, варьируя в пределах 15-80%. Наибольшая концентрация железа обнаруживается в окалине после гидросбива и от порезки слябов.

Однако из химического состава данных отходов видно, что лишь часть железа в них присутствует в виде оксида. Следовательно, использование отходов подобного состава при переработке в пигмент потребует операции окисления. С другой стороны, эти отходы составлены из крупных кусков с достаточно высокой твердостью, что затрудняет размол.

Окалина замасленная и некоторые виды шламов, например, шлам гальванического производства (шлам 2 в табл. 1), содержат слишком мало железа, чтобы представлять интерес как сырье для производства пигмента.

Шлам 1 отличается высокой концентрацией железа, но, как видно из табл. 1 исследованные шламы, во-первых, имеют повышенную влажность (до 30 % масс.), а во-вторых,

В металлургическом производстве образуется значительное количество отхода – пыли преимущественно 4 класса опасности, основу которой составляет оксид железа(III). Отход складировается на временных площадках и вывозится на полигоны для захоронения. Это же вещество является основным компонентом красных железоксидных пигментов.

Следует отметить, что пыли (шламы) металлургических предприятий по химическому (и отчасти по гранулометрическому) составу отличаются друг от друга и могут изменяться в широких пределах.

Чем выше содержание Fe_2O_3 в шламе, тем проще может быть технология его переработки в пигментные материалы и выше их качество.

Для установления возможности переработки в пигментную продукцию некоторых видов отходов, таких как пыль, шлаки, флюсы, окалина и другие, образующихся в различных производствен-

относятся к III классу опасности для ОПС. Данные показатели также ограничивают применимость шламов в качестве сырья при производстве пигментов.

Табл. 1. Состав и класс опасности для окружающей природной среды некоторых видов отходов металлургических производств

Определяемый компонент	Содержание, % масс.							
	Шламы		Металлургические шлаки, сѐмьы, пыль			Окалина		
	1	2	пыль 1	пыль 2	Золошлаки	после гидросбива	от порезк и слябов	замасленная
Вода	29.1±1.5	21.6±1.1	6.0±0.3	0.050±0.005	0.4±0.04	3.8±0.4	0.020±0.002	8.7±0.4
Алюминий	0.3±0.08	0.17±0.04	1.6±0.2	0.20±0.05	0.38±0.1	0.04±0.01	0.030±0.008	0.15±0.04
Кремний (SiO ₂)	15.2±0.8	3.8±0.2	3.5±0.2	41.0±4.0	4.9±0.5	1.6±0.2	4.3±0.4	30.1±1.5
Натрий	0.010±0.003	0.30±0.08	1.2±0.1	0.05±0.01	0.77±0.2	0.030±0.008	0.020±0.005	-
Железо	33.9±4.8	15.6±2.3	32.7±2.5	45.5±4.6	59.4±6.0	73.7±7.4	80.0±8.0	15.2±2.3
Хром	0.6±0.2	0.05±0.01	0.11±0.03	0.020±0.005	0.02±0.005	0.030±0.008	0.030±0.008	0.03±0.008
Марганец	0.6±0.2	0.020±0.005	1.50±0.15	0.7±0.2	0.38±0.1	0.40±0.01	1.3±0.3	0.39±0.09
Магний	(3.0±0.8)×10 ⁻³	0.10±0.03	14.6±1.5	0.010±0.003	0.25±0.06	0.008±0.002	0.004±0.001	0.15±0.04
Кальций	0.07±0.02	0.27±0.07	10.0±1.0	0.040±0.001	-	0.1±0.03	0.020±0.005	0.06±0.02
Цинк	0.0020±0.0005	37.0±3.7	12±2.4	0.0020±0.0005	1.24±0.3	0.0020±0.0005	0.0020±0.0005	0.02±0.005
Свинец	0.006±0.002	0.020±0.005	1.1±0.2	<0.0005	0.0015±0.0005	<0.0005	<0.0005	0.006±0.002
Никель	2.8±0.7	0.020±0.005	0.05±0.01	0.08±0.02	0.015±0.004	0.1±0.03	0.020±0.005	0.025±0.006
Медь	0.010±0.003	0.020±0.005	0.2±0.02	0.05±0.01	0.035±0.009	0.05±0.01	0.010±0.003	0.05±0.01
Мышьяк	(1.0±0.3)×10 ⁻⁵	-	-	-	-	-	-	-
Калий	-	-	1.0±0.1	0.05±0.01	-	-	-	-
Сера	-	-	-	-	-	<0.01	<0.01	-
Хлориды	(1.0±0.3)×10 ⁻³	4.75±0.7	11±1.1	-	3.9±1.0	-	-	0.10±0.03
Сульфаты	0.030±0.008	1.00±0.15	1.9±0.02	-	0.1±0.03	-	-	0.005±0.001
Нитраты	(6±2)×10 ⁻⁴	(2.0±0.5)×10 ⁻⁴	-	-	(2.5±0.6)×10 ⁻⁴	-	-	(2.0±0.5)×10 ⁻⁴
Нитриты	-	(3.0±0.8)×10 ⁻⁵	-	-	1.7±0.4	-	-	(3.0±0.8)×10 ⁻⁵
Углерод	-	-	-	-	-	0.7±0.07	1.4±0.1	37.5
Нефтепродукты	3.3±0.8	-	-	0.030±0.008	-	0.06±0.02	0.020±0.005	7.5±1.9
Кислород	13.6	15	12.5	12.2	26.9	19.3	12.7	-
Класс опасности	III	III	-	IV	IV	IV	IV	IV

Железо в форме оксида Fe₂O₃ в довольно больших количествах обнаружено в составе шлаков, золошлаков, пылей. Сырье для производства пигментов, хромофором в которых является ион Fe³⁺, должно содержать не менее 40% оксида железа.

Содержание Fe³⁺ в исследуемых смесях в пределах ~33-59% в пересчете на оксид железа дает количество ~46-82%.

Таким образом, оксид железа является основным компонентом в составе данных отходов, что позволяет рассматривать их в качестве сырья для переработки в пигментный материал. Однако золошлаки отличаются повышенным по сравнению с пылями содержанием оксида кремния и также состоят из крупных агломератов.

Наиболее привлекательными с точки зрения переработки в пигмент можно считать пыли.

Данный вид отхода характеризуется пониженным содержанием влаги и высокой степенью раздробленности слагающих отход частиц, что значительно сокращает количество стадий производства железоксидного пигмента и упрощает технологию.

В табл. 2 приведен примерный компонентный состав исследованных пылей.

В проанализированных образцах содержание железа составляет ~25-33%. Наряду с оксидом железа в пылях присутствуют оксиды цинка, кремния, кальция, марганца, натрия, калия, в небольшом количестве обнаружен оксид свинца.

Наличие в компонентном составе железосодержащей пыли водорастворимых компонентов (хлорид-, нитрат- и сульфат-ионы) обусловило необходимость изучения состава водной вытяжки и содержания в ней соединений, вымывающихся из изучаемого отхода. Показатель содержания водорастворимых солей в пигментной продукции не должен превышать определенных заданных значений.

В зависимости от области применения, их содержание в железоксидном пигменте не должно превышать 0.5% для органических лакокрасочных материалов и 3% для прочей продукции.

Табл. 2. Пигмент для строительной промышленности на основе пыли металлургического производства

Определяемый компонент	Содержание, % масс.
Вода	$(0 - 6.0) \pm 0.3^1$
Цинк	$(10.1 - 12) \pm 2.4$
Хром	$(0.10 - 0.11) \pm 0.03$
Марганец	$(0 - 1.50) \pm 0.15$
Медь	$(0.16 - 0.20) \pm 0.02$
Свинец	$(0.26 - 1.1) \pm 0.2$
Никель	$(0.02 - 0.05) \pm 0.01$
Железо	$(25.0 - 32.7) \pm 2.5$
Кальций	$(6.6 - 10.0) \pm 1.0$
Магний	$(1.1 - 14.6) \pm 1.5$
Натрий	$(0.8 - 1.2) \pm 0.1$
Калий	$(0 - 1.0) \pm 0.1$
Кремний	$(2.1 - 3.5) \pm 0.2$
Алюминий	$(0.3 - 1.6) \pm 0.2$
Гидроксид-ионы	0.45 ± 0.07
Нитрат – ионы (водорастворимые)	0.0030 ± 0.0009
Хлорид-ионы (водорастворимые)	$(1.04 - 11.0) \pm 1.1$
Сульфат – ионы (водорастворимые)	$(0.10 - 1.9) \pm 0.02$
рН водной вытяжки	
(соотношение пигмент : вода – 1:5)	10
Кислород	12.0

Табл. 3. Состав водной вытяжки из пигмента железоокисного, получаемого из отхода металлургического производства – железосодержащей пыли

Определяемый компонент	Содержание, мг/л.
Цинк	3.0 ± 0.45
Хром	14.4 ± 2.2
Марганец	2.0 ± 0.3
Медь	< 0.1
Свинец	6.9 ± 1.0
Никель	0.5 ± 0.1
Железо	1.9 ± 0.3
Кальций	6449.3 ± 650.0
Магний	0.1 ± 0.02
Натрий	2175.6 ± 220.0
Калий	2693.4 ± 270.0
Хлорид-ионы	22000 ± 2200
Нитрат-ионы	69.0 ± 17.0
Сульфат-ионы	209.0 ± 52.0
Гидроксид-ионы	0.09 ± 0.01
рН	10

В противном случае, производитель может столкнуться с рядом проблем при производстве или дальнейшей эксплуатации готовой продукции.

В табл. 3 представлены результаты исследования состава водной вытяжки, образующейся при водной обработке изучаемого отхода, с указанием концентраций компонентов в ней.

Из табл. 3 следует, что из железосодержащего отхода в водный раствор действительно поступают некоторые водорастворимые компоненты. Общая потеря массы пигмента в результате вымывания водорастворимых составила ~3.4%. Наибольшая концентрация (~2%) отмечена для хлорид-ионов.

Можно предположить, что такая концентрация хлоридов, вымываемых из готового пигмента, не будет являться препятствием для его использования при окрашивании силикатного кирпича: при условии ограниченного содержания пигмента в изделии и с учетом того, что воздействию воды подвергается только часть поверхности кирпича, вероятность достижения больших концентраций хлоридов в водном растворе невелика. Однако данное предположение требует отдельной проверки.

Содержание компонентов в водном экстракте из готового изделия – силикатного кирпича с добавлением 5% изучаемого пигмента, представлено в табл. 4.

Как и ожидалось (табл. 4), содержание таких компонентов, как железо, марганец, цинк, хром в водной вытяжке из окрашенного кирпича ниже, чем из пигмента. Содержание свинца и никеля уменьшается в десятки раз.

Некоторое повышение концентрации магния по сравнению с выявленным для пигмента объясняется тем, что сам кирпич содержит ряд способных к вымыванию под действием воды соединений, в том числе, содержащих ионы магния. В ~90 раз снизилось содержание хлорид-ионов, в ~50 раз – нитратов, более чем в 8 раз – сульфатов.

Таким образом, на основании проведенных исследований можно сделать вывод о целесообразности переработки изученного вида отхода металлургического производства в железоокисный пигмент с проведением дальнейшего комплекса экспериментов по установлению типичных для пигментной продукции характеристик.

Один из основных показателей – дисперсность. Дисперсный состав пылей металлургических производств зависит от многих факторов и может варьировать.

¹ Допустимый интервал концентраций указан для большего содержания определяемого компонента.

Табл. 4. Состав водной вытяжки из кирпича, окрашенного пигментом железоксидным

Определяемый компонент	Содержание, мг/л.
Цинк	0.01
Хром	0.05
Марганец	0.01
Свинец	0.1
Никель	0.03
Железо	<0.2
Магний	0.5
Хлорид-ионы	250
Нитрат-ионы	1.5
Сульфат-ионы	25

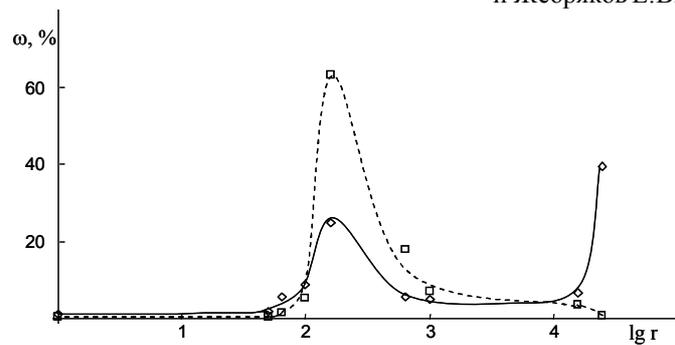


Рис. 2. Фракционный состав исходного отхода – пыли металлургического производства (сплошная линия) и пигмента железоксидного на его основе (пунктирная линия). Здесь ω – массовая доля фракции, % в зависимости от размера частиц, представленного в виде десятичного логарифма от размера ячейки сита, мкм.

Наличие большого количества крупнодисперсных частиц в пигменте неприемлемо, достаточно высокая полидисперсность отходов также ухудшит качество пигментов и скажется на ограничении их применимости.

Ситовый анализ показал наличие значительного содержания крупных частиц или агломератов частиц в исходной пыли (рис. 2, сплошная линия). Вклад фракции с размером составляющих $\geq 25\mu\text{м}$ достигает $\sim 40\%$ масс.

Вид кривой распределения частиц по фракциям – бимодальный с большой долей частиц с диаметром 0.16-0.65мм, относящихся к грубодисперсным частицам. Такой результат убедительно доказывает необходимость введения операции размола частиц отхода. Размол пыли проводили в шаровой мельнице. Эффективность размола проверяли теми же средствами.

По результатам ситового анализа размолотого пигмента, также представленным на рисунке 2 (пунктир), можно сделать вывод, что при размалывании железосодержащего отхода происходит интенсивное измельчение крупных частиц и их агломератов с полным исчезновением данной фракции. Причем кривая распределения фракций по размерам становится унимодальной с максимумом в той же области 0.16-0.65мм. Отсев частиц с размером более 1мм составляет величину $\sim 8\%$.

Анализ характера распределения более мелких частиц, составляющих фракцию $\leq 100\mu\text{м}$, проводили методом седиментации.

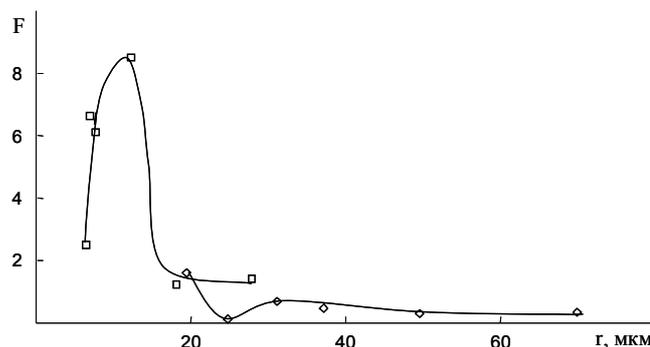


Рис. 3. Дифференциальные кривые распределения частиц по размерам по данным седиментационного анализа исходного отхода – пыли металлургического производства (нижняя кривая) и пигмента на его основе (верхняя кривая)

Анализ представленных на рисунке 3 дифференциальных кривых распределения частиц по размерам показывает, что фракционный состав пигмента более однороден – кривая распределения унимодальна с узким максимумом. Наивероятнейший радиус частиц пигмента составляет 10-12 мкм. Частицы такого размера относятся к среднелдисперсным, образующим в дисперсионной среде тонкие устойчивые взвеси.

Подобный характер распределения обеспечит седиментационную устойчивость пигмента в технологическом процессе изготовления кирпича. В исходном сырье вклад частиц такого размера седиментационным способом не определяется, что также говорит об эффективности размола.

Наконец, говоря о качестве пигмента, следует иметь ввиду влияние формы составляющих пигмент частиц на пигментные свойства. Как было показано выше, наиболее подходящая форма – сферическая. Микрофотографии пыли и пигмента представлены на рис. 4а-г. Из изображений, имеющих более высокое разрешение, видно, что как исходному отходу, так и пигменту на его основе присуща в основном правильная сферическая форма частиц.

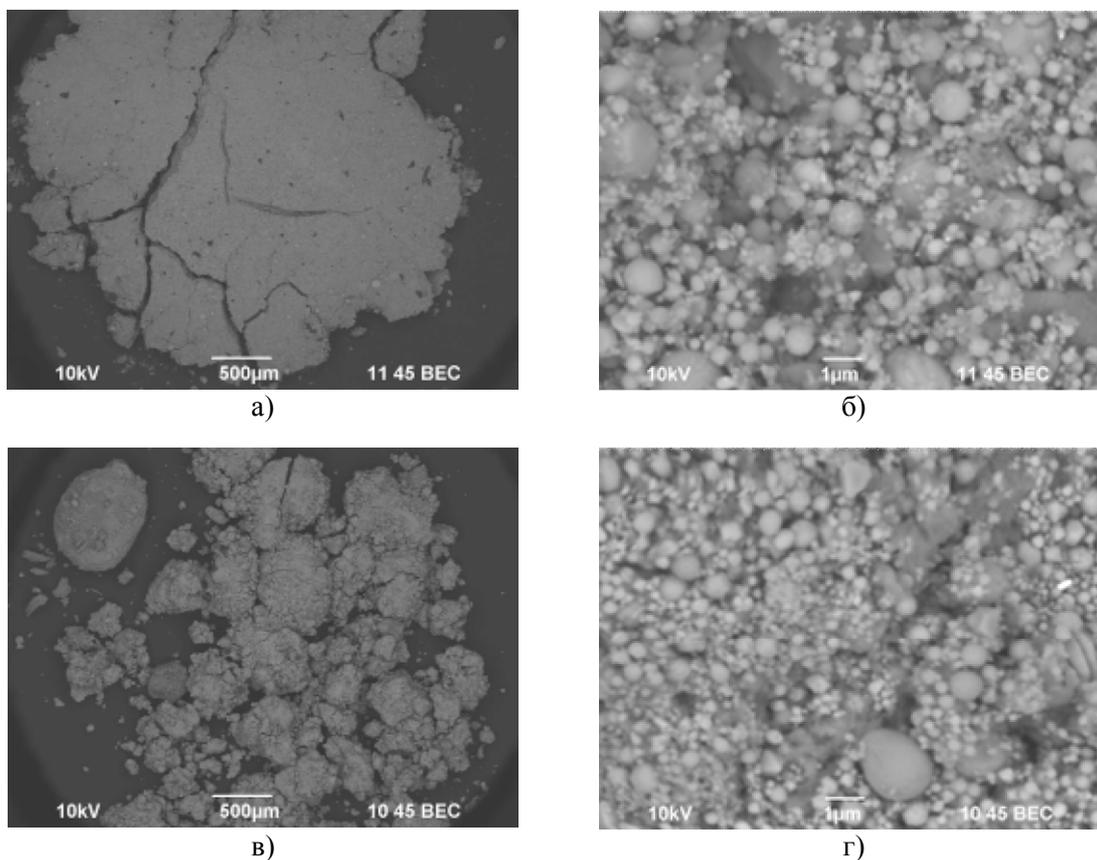


Рис. 4. Микрофотографии исходного отхода – пыли металлургического производства (в, г) и пигмента на его основе (а, б). Масштаб изображения указан на рисунках.

По приведенным на рис. 4 изображениям проводили дисперсионный анализ наиболее мелких частиц (рис. 5 и 6), который показал, что составляющие отход частицы при размалывании не претерпевают существенных изменений ни по размеру, ни по форме.

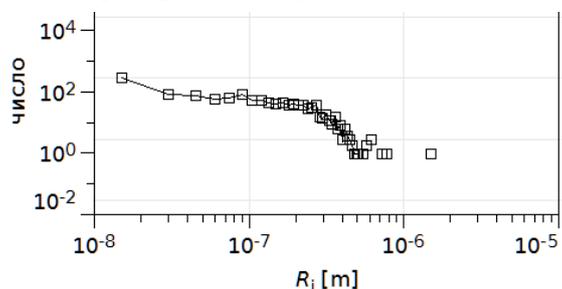


Рис. 5. Среднечисловое распределение частиц по размерам для пигмента на основе пыли металлургического производства. Рассчитано в приближении среднего радиуса вписанного диска.

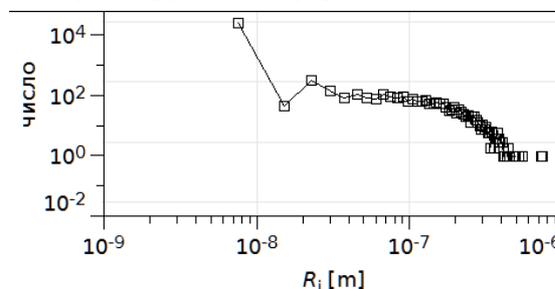


Рис. 6. Среднечисловое распределение частиц по размерам для отхода – пыли металлургического производства. Рассчитано в приближении среднего радиуса вписанного диска.

Полученный из железосодержащей пыли пигмент использовали для окраски экспериментальных образцов кирпича.

Известно, что введение железоксидных пигментов в количестве до 7-10% не ухудшает основных эксплуатационных свойств готовых окрашиваемых строительных материалов. Они позволяют производить как поверхностное, так и их объемное окрашивание [10].

В литературных источниках можно найти аналогичные способы использования и утилизации железосодержащих отходов, которые также предлагается вводить в качестве компонента в строительные материалы.

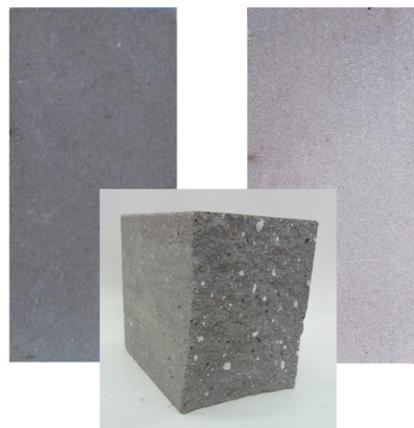


Рис. 7. Кирпич силикатный, полученный с добавлением 2% (справа), 5% (слева) железоксидного пигмента. В центре – срез кирпича.

Вводили 2, 3 и 5-6 % масс. пигмента в расчете на массу сухой смеси. Цвет готового кирпича при увеличении содержания пигмента изменялся от светло-сиреневого (рис. 7) до благородного светло-коричневого. Дальнейшее увеличение концентрации пигмента в составе кирпича нерационально: оттенок окраски практически не изменяется, оставаясь коричневатым, но при содержании пигмента свыше 8 % масс. заметно влияние высокой истинной плотности оксида железа, приводящее к увеличению массы единицы готовой продукции, что технологически нежелательно.

Изменяются и физико-химические характеристики готовой продукции. Так предел прочности при изгибе для кирпича силикатного, окрашенного введением 8% пигмента, составил в среднем 2.0 МПа. Такое значение прочности соответствует марке кирпича М100. Больше содержание пигмента ухудшает прочность, снижая предельную разрушающую нагрузку.

Таким образом, введение 2-5% пигмента в сухую смесь для приготовления кирпича можно считать оптимальным его содержанием. Экспериментально выявленная оптимальная концентрация согласуется с таковой для известных торговых марок пигментов высокого качества.

В соответствии с уточненными концентрациями пигмента в составе сухой смеси были изготовлены две экспериментальные серии кирпичей. Для них проводили комплексные испытания прочностных свойств. В табл. 9, 10 представлены выявленные физико-химические характеристики.

Табл. 9. Результаты испытаний силикатного утолщенного полнотельного кирпича с содержанием добавки пигмента 2-3%

№ пп	Размеры, мм	Масса, г	Плотность, кг/м ³	Нагрузка, Н	Определяемый параметр	
					Предел прочности в МПа при:	
					сжатии	изгибе
1	250×120×87	4665	1787	13030	-	4.30
2	250×120×87	4675	1791	11360	-	3.75
3	250×120×87	4765	1826	9690	-	3.20
4	250×120×87	4815	1845	10350	-	3.42
5	250×120×87	4875	1868	10690	-	3.53
1	122×120	-	-	280500	23.38	-
2	119×120	-	-	260100	21.86	-
3	102×120	-	-	252960	24.80	-
4	122×120	-	-	240720	19.73	-
5	120×120	-	-	335580	27.97	-

Из данных таблиц видно, что прочностные характеристики кирпича при сжатии и изгибе соответствуют марке М200. В среднем предел прочности при изгибе кирпича силикатного утолщенного лицевого составил 3.53 МПа, при сжатии 23.6 МПа.

Табл. 10. Результаты испытаний силикатного утолщенного полнотельного кирпича с содержанием добавки пигмента 5-6%

№ пп	Размеры, мм	Масса, г	Определяемый параметр			
			Плотность, кг/м ³	Нагрузка, Н	Предел прочности в МПа при:	
					сжатии	изгибе
1	250×120×88	4835	1831	13030	-	4.21
2	250×120×88	5055	1915	11360	-	3.67
3	250×120×89	5095	1908	9690	-	3.07
4	250×120×88	4980	1886	10350	-	3.34
5	250×120×89	5025	1882	10690	-	3.37
1	122×120	-	-	292740	20.00	-
2	122×120	-	-	352920	24.11	-
3	117×120	-	-	396780	28.26	-
4	111×120	-	-	300900	22.59	-
5	123×120	-	-	340680	23.08	-

Экспериментальная часть

Определение компонентного состава отходов производили методами атомно-абсорбционной спектроскопии (спектрофотометр *Shimadzu AA 7000*) и капиллярного электрофореза (*Капель 103PT Люмэкс*). Содержание кислорода в составе твердых отходов определяли расчетным путем, углерода – методом элементного анализа. Содержание ОН⁻ определяли титриметрически. Содержание воды (влажность) определяли гравиметрически.

Для установления степени полидисперсности и размера частиц использовали ряд методик: ситовый анализ методом определения остатка на сите после сухого просеивания, седиментационный анализ в водной среде с использованием торсионных весов. Для определения формы частиц в отходе и пигменте получали их изображения с помощью электронного микроскопа *JEOL JSM-6490* (предельное разрешение по паспорту 2 нм). По полученным изображениям с помощью графической программы отображения и анализа данных сканирующей зонной микроскопии *Gwyddion* (свободное распространение) проводили дисперсионный анализ наиболее мелких частиц.

Предел прочности при изгибе и сжатии кирпича силикатного утолщенного лицевого, окрашенного определяли в соответствии с ГОСТ 379-95.

Водную вытяжку из пигмента и измельченного силикатного кирпича получали при перемешивании объекта исследований в дистиллированной воде в течении 60 мин при соотношении объект/вода = 1/5 с последующим фильтрованием. рН водной вытяжки определяли на приборе рН-METR ELWRO PRLT №5123.

Отнесение отхода к классу опасности для окружающей природной среды (ОПС) расчетным методом зависит от степени опасности (К) отхода и рассчитывается как сумма показателей степени опасности каждого компонента отхода ($K = K_1 + K_2 + \dots + K_i$). Показатель степени опасности компонента отхода (K_i) рассчитывается как соотношение концентраций компонентов отхода с коэффициентом его степени опасности для ОПС. Перечень компонентов отхода и их содержание устанавливали по результатам количественного химического анализа отхода. Отнесение отходов к классу опасности расчетным методом по показателю степени опасности отхода для ОПС² проводили с использованием программы «Расчет класса опасности отходов» (Версия 2.2) (с) *Интеграл 2001-2006*.

Выводы

Пигмент, полученный в результате размола пыли металлургического производства, характеризуется:

1. Содержанием основного компонента Fe₂O₃, достигающим 42-45 % масс., что позволяет использовать его в качестве железистоокисного пигмента.
2. Гранулометрическим составом, отвечающим повышенному (до 60%) содержанию средне-дисперсных частиц с наивероятнейшим размером 100-150 мкм;
3. Некоторым количеством растворимых в воде компонентов, максимальное содержание которых в исследуемом пигменте ~3%. При использовании пигмента в составе строитель-

² В соответствии с «Критериями отнесения опасных отходов к классу опасности для окружающей среды», утвержденной приказом МПР России 15.06.2001 г. №511.

Полная исследовательская публикация ____ Федосеев В.Б., Зорин А.Д., Федосеева Е.Н., Занозина В.Ф. и Жебряков Е.В.

ных смесей в количестве ~5%, содержание водорастворимых в общей массе продукта падает до 0.004%.

4. Хорошей окрашивающей способностью при использовании для придания цвета силикатному кирпичу без снижения его прочностных свойств.

Данные результаты позволили начать разработку технологического процесса изготовления пигмента из вторичного сырья.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, государственный контракт от «19» марта 2013г. № 14.515.11.0039 Шифр «2013-1.5-14-515-0035-038».

Литература

- [1] Кокорин В.Н., Григорьев А.А., Кокорин М.В., Чемаева О.В. Промышленный рециклинг техногенных отходов. *Учебное пособие. УлГТУ. 2005.* 42с.
- [2] ГОСТ 8269.1-97. Щебень и гравий из плотных горных пород и отходов промышленного производства для строительных работ. Методы химического анализа.
- [3] G. Vuxbaum (ed.). *Industrial Inorganic Pigments.* Weinheim–New York–Chichester–Brisbane–Singapore–Toronto. *Wiley-VCH. 1998.* 290p.
- [4] Лютоев В.П., Кочергин А.В., Лысюк А.Ю., Силаев В.И., Голубев Е.А., Суетин В.П. Фазовый состав и структурное состояние природных железистоокисных пигментов. *ДАН. 2009.* Т.425. №3. С.372-377.
- [5] Беленький Е.Ф. Химия и технология пигментов. Е.Ф. Беленький, И.В. Рискин. *Л.: Химия. 1974.* 656с.
- [6] Краснобай Н.Г., Лейдерман Л.П., Кожевников А.Ф. Производство железистоокисных пигментов для строительства. *Строительные материалы. 2001.* №8. С.19.
- [7] Iron oxide pigment and process for preparing such a pigment. Pat. GB1531561 08.11.1978.
- [8] Перспективная технология получения железосодержащих пигментов из отработанных растворов для травления металлов. <http://vseokraskah.net/novoe-v-mire-pokraski/tehnoloiya-polucheniya-zhelezosoderzhashix.html>
- [9] Production of ferric oxide yellow pigment and use of the same. Pat. JP10194747. 28.07.1998.
- [10] Арютина В.П., Камалова З.А., Дьячков И.В., Егорова Н.Г., Войнова Т.И. Природные пигменты разного типа из местного сырья. *Известия КГАСА. 2004.* №1(2). С.51-53.
- [11] R.I. Iacobescu, D. Koumpouri, Y. Pontikes, R. Saban, G.N. Angelopoulos. Valorisation of electric arc furnace steel slag as raw material for low energy belite cements. *Journal of Hazardous Materials.* Vol.196. 2011. P.287-294.