

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ТОПЛИВА И ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ CHEMICAL TECHNOLOGY OF FUEL AND HIGH-ENERGY SUBSTANCES

Научная статья

УДК 504.4.054

DOI: 10.26730/1999-4125-2022-4-33-42

ИЗУЧЕНИЕ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ПРОЧНОСТЬ МАГНЕТИТОВОГО ЯДРА

Черепова Анастасия Евгеньевна,
Ушакова Елена Сергеевна,
Ушаков Андрей Геннадьевич

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева

*для корреспонденции: nastyach.httt@mail.ru



Информация о статье

Поступила:

26 июня 2022 г.

Одобрена после

рецензирования:

30 августа 2022 г.

Принята к публикации:

31 августа 2022 г.

Ключевые слова:

аварийные разливы нефти и нефтепродуктов, магнитные сорбенты, магнетитовое ядро, магнетит, термообработка, прочность

Аннотация.

В работе рассмотрена актуальная на сегодняшний день тема загрязнения водоемов. Существует ряд методов по очистке водных пространств, экологически безопасным методом является сорбционная очистка. Однако он имеет значительный недостаток – легкий вес, парусность. Под действием неблагоприятных факторов (сильные течения и ветер) сорбент, в том числе и отработанный, разносится на дальние расстояния. Решением данной проблемы можно считать применение магнитных сорбентов. В статье предложена технология получения магнетитового ядра для применения в процессах получения магнитного сорбента для ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов. Изучены факторы, влияющие на прочность магнетитового ядра: природа магнетита, концентрация отвердителя, режим термообработки. Приведены физические характеристики двух видов магнетита. Для получения необходимой прочности магнетитового ядра синтетический магнетит подвергать термической обработке не нужно. В случае использования магнетита из золы сжигания углей термическая обработка необходима. Прочность магнетитового ядра также определяется концентрацией отвердителя, которая колеблется от 15 до 20%. По результатам лабораторных исследований оптимальной температурой термообработки является 600 °С, при данном режиме термообработки магнетитовое ядро не изменяет своих свойств, становится стабильным.

Для цитирования: Черепова А.Е., Ушакова Е.С., Ушаков А.Г. Изучение факторов, влияющих на прочность магнетитового ядра // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2022. № 4 (152). С. 33-42. doi: 10.26730/1999-4125-2022-4-33-42

Введение

Одна из основных экологических проблем России – загрязнение окружающей среды нефтью и нефтепродуктами, при этом наиболее опасно попадание нефти в водные пространства, так как ее распространение по воде за счет множества факторов (скорость течения, сильных ветров и

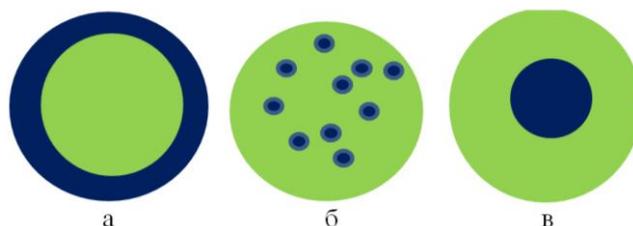


Рис. 1. Способы распределения частиц магнетита в гранулах: а – «на поверхности», б – «в объеме», в – «магнетитовое ядро»;

● – смесь наполнителя и связующего; ● – магнетит
 Fig. 1. Ways of distribution of magnetite particles in granules: а - "on the surface", б - "in bulk", в - "magnetite core";

● - a mixture of filler and binder; ● – magnetite

Таблица 1. Характеристики магнетита

Table 1. Characteristics of magnetite

Характеристика	Исходный магнетит		Прокаленный магнетит	
	синтетический	из золы углей	синтетический	из золы углей
Цвет	Черного матового	Черный блестящий	Ярко бурый	Черный блестящий
Запах	Специфичный запах	Не имеет	Не имеет	Не имеет
Насыпная плотность (кг/м ³)	1364±68,2	2242±100,9	1018±50,9	2242±100,9
Влажность (%)	0	0	0	0
Зольность (%)	98,98±4,9	99,75±5,0	-	-
Взаимодействие магнетита с водой	Плавает на поверхности	Оседает на дно	Оседает на дно	Оседает на дно
Фракционный состав	Присутствуют пылящие частицы магнетита	Однородный состав, отсутствуют пылящие частицы	Присутствуют пылящие частицы магнетита	Однородный состав, отсутствуют пылящие частицы

др.) происходит очень быстро; за относительно небольшой промежуток времени нефтяная пленка покрывает значительные расстояния. Такого рода разливы существенно подрывают экологию окружающей среды и негативно влияют на здоровье людей [1-3].

Проблема очистки водных пространств от различного рода загрязнителей, в том числе от нефти и нефтепродуктов, достаточно актуальна и требует применения и поиска новых способов, подходов и приспособлений для того, чтобы минимизировать нагрузку на экологическую обстановку, флору и фауну [2-5].

На сегодняшний день экологически безопасным методом ликвидации аварийных разливов нефти (ЛАРН) считается сорбционная очистка, однако она имеет значительный недостаток – легкий вес и парусность применяемых сорбентов [6, 7, 8]. Решением данной проблемы можно считать применение магнитных свойств, обеспечивающих легкое извлечение сорбента с водной поверхности, а также контроль и управление при ликвидации разлива [9, 10].

В состав магнитных сорбентов в качестве одного из компонентов применяют один из видов магнетита (FeO·Fe₂O₃): синтетический и полученный из золы сжигания углей.

Введение магнетита в сорбент с целью получения магнитных свойств возможно тремя способами (рис.1) [11, 12, 13]:

1 способ – распределение магнетита «на поверхности» сорбента (рис.1а). Способ малоэффективен, так как магнетит отслаивается от основного состава на одной из основных стадий получения сорбента – пиролизе, в результате магнитные свойства сорбента ослабевают [14].

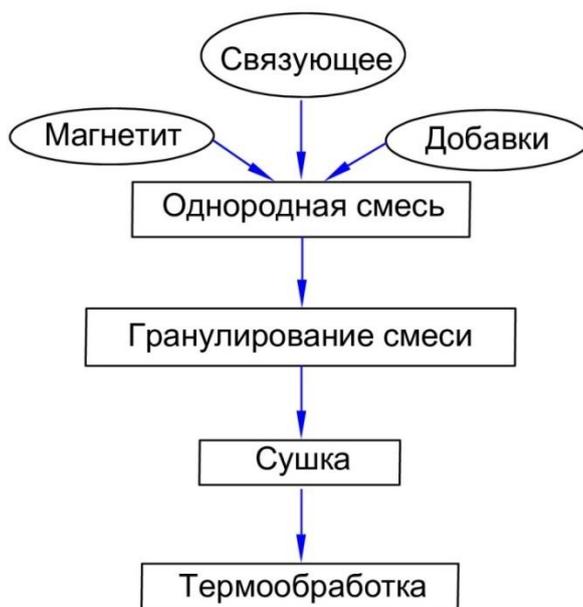


Рис. 2. Функциональная схема получения магнетитового ядра

Fig. 2. Functional scheme for obtaining a magnetite core

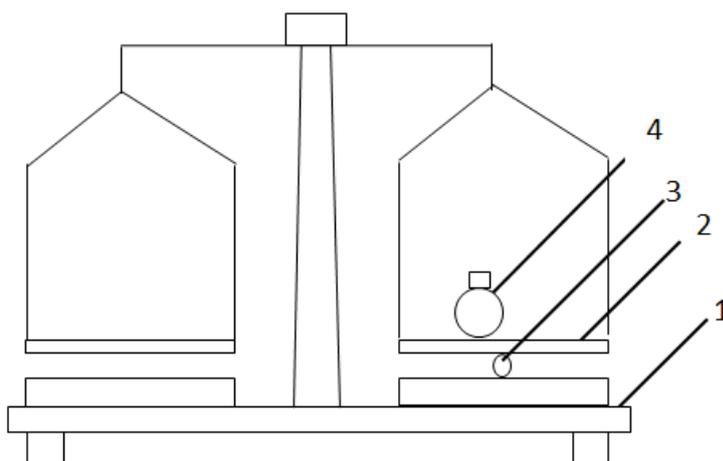


Рис. 3. Схема гравиметрической установки для определения величины разрушающей нагрузки на ядро: 1 – лабораторные двучашечные весы;

2 – платформа; 3 – исследуемый образец; 4 – груз известной массы

Fig. 3. Scheme of the gravimetric setup for determining the value of the breaking load on the core: 1 – laboratory double-cup scales;

2 - platform; 3 – test sample; 4 – load of known mass

2 способ – распределение магнетита по объему сорбента (рис. 1б). С точки зрения получения магнитных свойств сорбента способ достаточно эффективен, но появляется проблема отделения магнетита из золы при утилизации сорбента методом сжигания.

3 способ – сосредоточение магнетита в ядре (рис. 1в). Способ высокоэффективен, сорбент в результате обладает необходимыми магнитными свойствами. Преимущество магнетитового ядра определяется возможностью его использования, отделения и повторного использования в сорбентах. Однако в этом случае к ядру предъявляются следующие требования: достаточная прочность и термоустойчивость [15].

Цель работы – изучение влияния различных факторов на прочность магнетитового ядра при его получении.



Рис. 4. Магнетитовые ядра
Fig. 4. Magnetite cores

Методическая часть

В качестве сырья применяли два вида магнетита: синтетический по ТУ 6-14-1009-79 и полученный из золы сжигания углей в инженеринговом центре Иркутского государственного университета по переработке техногенного сырья (таблица 1). При этом также использовали образцы указанных магнетитов после прокалики при температуре 800°C.

Сырьем для магнетитового ядра служили неорганическое связующее (силикаты щелочных металлов), наполнитель (частицы магнетита) и добавки. Получение магнетитового ядра приведено на рисунке 2 и состоит из нескольких стадий.

Для получения магнетитовых ядер требовалось приготовить смесь, содержащую от 80 до 90% жидкого стекла, до 5% магнетита и 3–5% добавок, придающих ядру необходимые свойства. Отверждение ядер проводили в растворе полимеризатора.

Далее ядра сушили в инфракрасном сушильном шкафу при температуре 100°C не менее 60 минут для удаления влаги. Термическую обработку магнетитового ядра до 700°C проводили в муфельной печи. Температурный режим способствовал формированию свойств и формы ядра, которые не будут изменяться при дальнейшем нагревании.

В качестве основных параметров, влияющих на прочность магнетитового ядра, рассматривали природу магнетита, термическую обработку магнетита, концентрацию полимеризатора, режим термообработки, температуру термообработки.

Природа магнетита

Этот параметр изменяли на стадии получения смеси для приготовления магнетитового ядра, было использовано два вида магнетита: синтетический и из золы сжигания углей.

Термическая обработка магнетита

Для изучения изменения свойств ядра, полученных на основе прокаленных магнетитов, исходные образцы магнетитов подвергали нагреву до 800 – 850 °C в течение 30 минут с последующим охлаждением на воздухе. Далее образцы магнетита использовались в технологии получения магнетитового ядра.

Концентрация полимеризатора

Ядра выдерживали в полимеризаторе с заданной концентрацией 5, 10, 15, 20, 50, 60 %. Далее ядра отправляли на анализ для определения зависимости прочности магнетитового ядра от концентрации полимеризатора.

Температура термообработки

Термическую обработку проводили в муфельной печи нагревом до 700°C. Каждые 100°C магнетитовые ядра извлекали для определения прочности.

Все вышеперечисленные характеристики были использованы для определения факторов, влияющих на прочность магнетитового ядра.

Прочность на сжатие магнетитового ядра определяли на установке, представленной на рисунке 3.

Установка представляла собой модифицированные лабораторные двучашечные весы. Под центр одной из чаш весов помещали исследуемый образец гранул. После того, как чаша соприкасалась с образцом, на нее помещали гири известной массы. Первоначальная нагрузка на образец – 100 г, в дальнейшем ее увеличивали по 50 г до критического значения, когда образец поддавался разрушению. Общая масса гирь на чаше весов соответствует значению разрушающей нагрузки на образец. Среднее значение разрушающей нагрузки определяли по результатам пятнадцати определений.

Обсуждение результатов

Магнетитовые ядра представляли собой магнитные образования в форме сферы от светло-серого до бурого цвета (рис. 4). Физические характеристики: масса– 0,016–0,018 г; насыпная

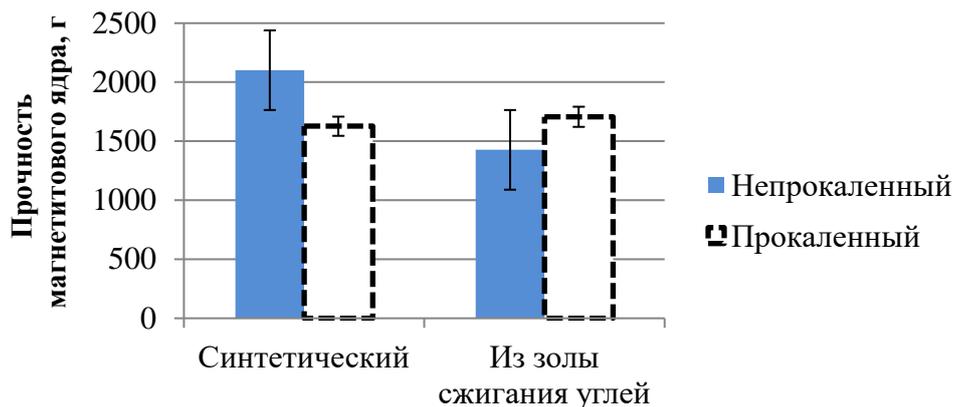


Рис. 5. Влияние природы магнетита на прочность магнетитового ядра
 Fig. 5. Influence of the nature of magnetite on the strength of the magnetite core



Рис. 6. Влияние концентрации отвердителя на прочность магнетитового ядра
 Fig. 6. Effect of hardener concentration on the strength of the magnetite core

плотность – 1,421–1,502 кг/м³; прочность на сжатие – 2,229–2,340 кг/гранула; влагоемкость – 0,42 – 0,44 г/г; динамическая прочность – 72,51 % масс; плавучесть – не менее 30 сут.

Влияние вида магнетита и его термической обработки на прочность ядра приведено на графике рис. 5.

При анализе синтетического магнетита обнаружили, что он обработан гидрофобным материалом неизвестного состава, так как не смачивается и не тонет при контакте с водой в исходном состоянии, но при нагреве до 800°C теряет до 1,5% мас., меняет цвет на бурый, тонет в воде.

При использовании прокаленных образцов синтетического магнетита в ядре обнаружено уменьшение прочности на 22,59%, что может быть связано с наличием примесей гидрофобизатора, которые препятствуют формированию прочных ядер.

В случае применения прокаленного магнетита из золы сжигания углей наблюдается увеличение в среднем на 16% прочности ядра, над природой данного явления ведутся исследования.

Также выявлено, что прочность ядер зависит от концентрации полимеризатора. Исследования показали, что гранулы, выдержанные в отвердителе с концентрацией 5%, теряли форму, и лишь отдельные гранулы имели форму шара. Ядра, выдержанные в более концентрированных растворах, 10-15%, имеют сферическую форму и после термообработки выдерживали до 2340 г. Таким образом, концентрация отвердителя влияет на прочность ядра, с

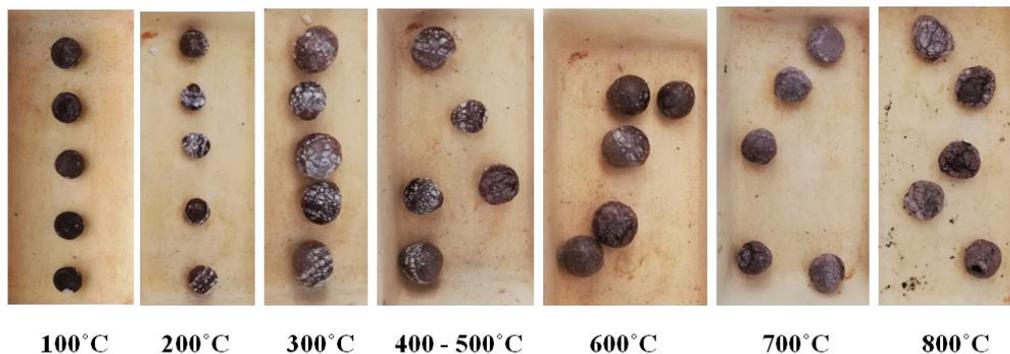


Рис. 7. Поведение магнетитового ядра при постепенном нагреве
 Fig. 7. Behavior of the magnetite core during gradual heating

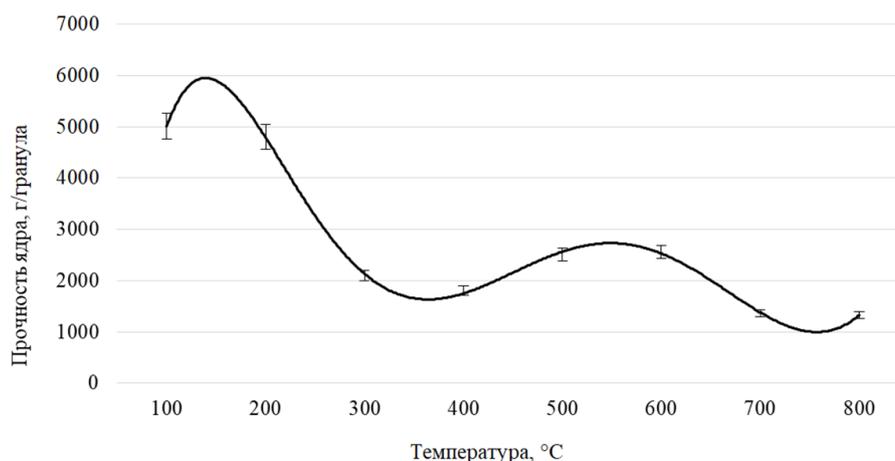


Рис. 8. Зависимость прочности магнетитового ядра от температуры термообработки
 Fig. 8. Dependence of the strength of the magnetite core on heat treatment temperature

увеличением концентрации возрастает и прочность магнетитового ядра, чему свидетельствует график (рис. 6).

Так, при увеличении концентрации отвердителя до 20% происходит значительное увеличение прочности, это связано с тем, что молекулы отвердителя свободно проникают в поры зародыша магнетитового ядра. Однако при концентрации выше 20% статическая прочность плавно снижается и достигает порядка 500 г, причиной тому является более плотная структура отвердителя, которая препятствует проникновению реагента в поры ядра.

Немаловажную роль при получении магнетитового ядра играет режим термообработки. Температурный режим термообработки должен способствовать формированию формы, которая не будет изменяться при дальнейшем нагревании. Для определения оптимальной температуры были проведены опыты. Часть гранул подвергали резкому нагреванию в муфельной печи, вследствие чего гранулы быстро вспучивались, достигали размера 0,9 – 1 см. Другую часть гранул помещали в холодную муфельную печь с дальнейшим постепенным нагреванием вплоть до 700°C. В результате, гранулы достигали размера 0,3 – 0,4 см и при этом приобретали заданную прочность. В зависимости от температурного режима гранулы выдерживали от 250 г до 2 340 г.

На прочность магнетитового ядра влияет температура термообработки. Цель термообработки – получение термоустойчивого магнетитового ядра сферической формы особой прочности с целью повторного использования его в магнитном сорбенте. В результате термической обработки гранулы подвергаются нагреву до 800°C (рис. 7). Каждые 100°C проводили анализ статической прочности на сжатие (рис. 8).

При 100°C прочные сферические гранулы темно-бурого цвета, сохраняют форму двояковогнутого диска после сушки, видимых изменений не наблюдается. Прочность – 5000 г;

при 200 °С происходит выделение отвердителя, на гранулах появляется белый налет, прочность составляет 4802 г; при 300 °С гранулы увеличиваются в размере, вспучиваются. Происходит резкое снижение прочности до 2100 г, связанное с преобразованием магнетитового ядра в сферическую форму; при 400-500 °С гранулы продолжают вспучиваться и достигают своего максимального значения 0,59-0,61 мм., прочность при этом колеблется от 1810 до 2510 г; при прохождении 500 °С гранулы стабилизируются, прочность составляет 2565 г; при 700 °С гранулы сжимаются, начинают видоизменять свою форму, прочность падает до 1370 г; при 800 °С гранулы заметно деформируются, уменьшаются в размере, прочность – 1330 г.

Таким образом, оптимальный режим термообработки представляет собой постепенное нагревание магнетитовых ядер вплоть до 600 °С. При данной температуре магнетитовое ядро устойчиво, не происходит видимых изменений формы и прочности.

При получении магнетитового ядра особой прочности необходимо учитывать такие параметры, как природу магнетита, время выдерживания ядер в растворе отвердителя, температуру и режим термообработки.

На основе проделанной работы можно сделать вывод, что для получения более прочного магнетитового ядра синтетический магнетит подвергать термической обработке не нужно. В случае использования магнетита из золы сжигания углей термическая обработка необходима.

Оптимальная концентрация отвердителя в технологии получения магнетитового ядра от 15 до 20%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Егоров А. И. Борьба с нефтяными загрязнениями водных ресурсов с применением бон-сорбционных технологий на основе полимерных отходов / А. И. Егоров, Д. П. Юхин, А. П. Козловцев // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2020. №1 (81). С. 118-123.
2. Карманова А. А. Загрязнение поверхностных водоемов, основные источники и загрязнители // Международный журнал прикладных наук и технологий «Integral». 2019. №1. С. 48-59.
3. Короткоручко Д. Ю. [и др.] Современные методы защиты и очистки вод от загрязнения нефтепродуктами // Научные исследования. 2018. 5 с.
4. Коршунова Т. Ю., Логинов О. Н. Нефтяное загрязнение водной среды: особенности, влияние на различные объекты гидросферы, основные методы очистки // Экобиотех. 2019. Т.2. №2. С. 157-174.
5. Жуков Н. С. Анализ применения сорбентов при аварийных разливах нефти (на примере месторождения о. Сахалин) // Вестник науки и образования. №13 (91). Часть 1. 2020. С. 69-72.
6. Singh, B. [et al.] Magnetic scaffolds in oil spill applications // Environmental Science: Water Research & Technology. 2020. № 6 (3). P. 436–463.
7. Makarchuk O., Dontsova T., Perekos A., Skoblik A. and Svystunov Y., «Magnetic mineral nanocomposite sorbents for wastewater treatment», Journal of Nanomaterials. 2017. Pp. 1-5.
8. Толмачева В. В. [и др.] Магнитные сорбенты на основе наночастиц оксидов железа для выделения и концентрирования органических соединений // Журнал аналитической химии. 2016. Т.71. №4. С. 339-356.
9. Алексанян К. Г. [и др.] Нефтяные сорбенты на основе природных материалов // НефтеГазоХимия. 2020. С. 57-60.
10. Губин А. С. [и др.] Синтез магнитных сорбентов на основе наночастиц магнетита и гуминовых кислот и их применение для сорбции фенольных экотоксикантов // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия Химия. Биология. Экология. 2020. Т.20. Вып. 3. С.244-253.
11. Шайхиев И. Г. [и др.] Адсорбционная очистка водных объектов от нефти с использованием модифицированных отходов деревообработки. Белгород. 2018. 139 с.
12. Кошелев А. В. [и др.] Разработка технологии получения сорбентов на основе бентонитовых глин для систем очистки воды // Вода и экология: проблемы и решения. 2018. №2 (74). С. 32-39.
13. Cheremisina O., Litvinova T., Sergeev S., Ponomareva M. and Mashukova J., «Application of the Organic Waste-Based Sorbent for the Purification of Aqueous Solutions», Water. 2019. P.19.
14. Ушакова Е. С. [и др.] Влияние природы магнетита на процесс получения и свойства магнитных углеродных сорбентов // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2019. №2. С. 77-86.
15. Ушакова Е. С. [и др.] Влияние природы магнетита на свойства магнетитового ядра // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2021. №2. С. 68-73.

© 2022 Авторы. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Об авторах:

Черепова Анастасия Евгеньевна, студентка, Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, (650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28), nastyach.httt@mail.ru

Ушакова Елена Сергеевна, доцент, Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, (650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28), кандидат техн. наук, breis@list.ru

Ушаков Андрей Геннадьевич, доцент, Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, (650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28), кандидат техн. наук, elliat@mail.ru

Заявленный вклад авторов:

Черепова А.Е. – постановка исследовательской задачи, концептуализация исследования, выводы, написание текста, научный менеджмент, сбор и теоретический анализ данных, обзор соответствующей литературы, экспериментальные исследования, обработка и анализ их результатов.

Ушакова Е.С. – постановка исследовательской задачи, концептуализация исследования, выводы, написание текста, научный менеджмент, сбор и теоретический анализ данных, обзор соответствующей литературы, экспериментальные исследования, обработка и анализ их результатов.

Ушаков А.Г. – постановка исследовательской задачи, концептуализация исследования, выводы, написание текста, научный менеджмент, сбор и теоретический анализ данных, обзор соответствующей литературы, экспериментальные исследования, обработка и анализ их результатов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Original article

IMPROVING THE PROCESS OF SORTING ABRASIVES BY SHAPE

Anastasia E. Cherepova,
Elena S. Ushakova,
Andrey G. Ushakov

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University

*for correspondence: nastyach.httt@mail.ru

**Article info**

Submitted:
26 June 2022

Approved after reviewing:
30 August 2022

Accepted for publication:
31 August 2022

Keywords: emergency oil and petroleum product spills, magnetic sorbents, magnetite core, magnetite, heat treatment, strength

Abstract.

The paper considers the current topic of pollution of reservoirs. There are a number of methods for cleaning water spaces, the environmentally safe method is sorption cleaning. However, it has a significant drawback - light weight, windage. Under the influence of unfavorable factors (strong currents and wind), the sorbent is carried over long distances, including spent. The use of magnetic sorbents can be considered as the solution to this problem. The article proposes a technology for obtaining a magnetite core for use in the processes of obtaining a magnetic sorbent for the elimination of emergency spills of oil and petroleum products. The factors affecting the strength of the magnetite core are studied: the nature of the magnetite, the concentration of the hardener, the heat treatment regime. The physical characteristics of two types of magnetite are given. It is not necessary to heat-treat synthetic magnetite to obtain the necessary strength of the magnetite core. In the case of using magnetite from coal burning ash, heat treatment is necessary. The strength of the magnetite core is also determined by the concentration of the hardener, which ranges from 15 to 20%. According to the results of laboratory studies, the optimal temperature of heat treatment is 600C, with this mode of heat treatment, the magnetite core does not change its properties, it becomes stable.

For citation: Cherepova A.E., Ushakova E.S., Ushakov A.G. Improving the process of sorting abrasives by shape. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*=Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2022; 4(152):33-42. (In Russ., abstract in Eng.). doi: 10.26730/1999-4125-2022-4-33-42

REFERENCES

1. Egorov A.I. [et al.] Fight against oil pollution of water resources with the use of adsorption technologies based on polymer waste. *Izvestiya Orenburg State Agrarian University*. 2020; 1(81):118-123.
2. Karmanova, A.A. Pollution of surface reservoirs, main sources and pollutants. *International Journal of Applied Sciences and Technologies «Integral»*. 2019; 1:48-59.
3. Korotkoruchko D.Yu. [et al.] Modern methods of water protection and purification from oil pollution. *Scientific research*. 2018. 5 p.
4. Korshunova T.Yu., Loginov O. N. Oil pollution of the aquatic environment: features, impact on various hydrosphere objects, basic cleaning methods. *Ecobiotech*. 2019; 2(2):157-174.
5. Zhukov N.S. Analysis of the use of sorbents in emergency oil spills (on the example of the Sakhalin Island field). *Bulletin of Science and Education*. Part 1. 2020; 13(91):69-72.
6. Singh B. [et al.] Magnetic scaffolds in oil spill applications. *Environmental Science: Water Research & Technology*. 2020; 6(3):436-463.
7. Makarchuk O., Dontsova T., Perekos A., Skoblik A. and Svystunov Y., «Magnetic mineral nanocomposite sorbents for wastewater treatment», *Journal of Nanomaterials*. 2017. Pp. 1-5.
8. Tolmachev V.V. [et al.] Magnetic sorbents on the basis of nanoparticles of iron oxides for isolation and concentration of organic compounds. *Journal of analytical chemistry*. 2016; 71(4):339-356.
9. Alexanyan K.G. [et al.] Oil sorbents based on natural materials. *Neftgazohimiya*. 2020. Pp. 57-60.
10. Gubin A.S. [et al.] Synthesis of magnetic sorbents based on magnetite and humic acid nanoparticles and their

application for the sorption of phenolic ecotoxicants. *Izvestiya Saratov University. A new series. Chemistry series. Biology. Ecology*. 2020; 20(3):244-253.

11. Shaikhiev I.G. [et al.] Adsorption purification of water bodies from oil using modified woodworking waste. Belgorod. 2018. 139 p.

12. Koshelev A.V. [et al.] Development of technology for obtaining sorbents based on bentonite clays for water purification systems. *Water and ecology: problems and solutions*. 2018; 2(74):32-39.

13. Cheremisina O., Litvinova T., Sergeev S., Ponomareva M. and Mashukova J. «Application of the Organic Waste-Based Sorbent for the Purification of Aqueous Solutions», *Water*. 2021. P.19.

14. Ushakova E.S. [et al.] The influence of the nature of magnetite on the process of obtaining and properties of magnetic carbon sorbents. *Bulletin of the Kuzbass State Technical University*. 2019; 2:77-86.

15. Ushakova E.S. [et al.] The influence of the nature of magnetite on the properties of the magnetite core. *Bulletin of the Kuzbass State Technical University*. 2021; 2:68-73.

© 2022 The Authors. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

The authors declare no conflict of interest.

About the authors:

Anastasia E. Cherepova, Student, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, (28 street Vesennyaya, Kemerovo, 650000, Russian Federation), nastyach.httt@mail.ru

Elena S. Ushakova, Associate Professor, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, (28 street Vesennyaya, Kemerovo, 650000, Russian Federation), C. Sc. in Engineering, brels@list.ru

Andrey G. Ushakov, Associate Professor, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, (28 street Vesennyaya, Kemerovo, 650000, Russian Federation), C. Sc. in Engineering, elliat@mail.ru

Contribution of the authors:

Anastasia E. Cherepova - research problem statement; conceptualisation of research; drawing the conclusions; writing the text, research problem statement; scientific management; data collection; data analysis, reviewing the relevant literature; conceptualisation of research; data analysis; drawing the conclusions.

Elena S. Ushakova - research problem statement; conceptualisation of research; drawing the conclusions; writing the text, research problem statement; scientific management; data collection; data analysis, reviewing the relevant literature; conceptualisation of research; data analysis; drawing the conclusions.

Andrey G. Ushakov - research problem statement; conceptualisation of research; drawing the conclusions; writing the text, research problem statement; scientific management; data collection; data analysis, reviewing the relevant literature; conceptualisation of research; data analysis; drawing the conclusions.

All authors have read and approved the final manuscript.

