

## ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ТОПЛИВА И ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ

DOI: 10.26730/1999-4125-2019-2-77-86

УДК 504.06

### ВЛИЯНИЕ ПРИРОДЫ МАГНЕТИТА НА ПРОЦЕСС ПОЛУЧЕНИЯ И СВОЙСТВА МАГНИТНЫХ УГЛЕРОДНЫХ СОРБЕНТОВ

### THE AFFECT OF MAGNETITE NATURE ON MAGNETIC CARBON SORBENT OBTAINING PROCESS AND THE PROPERTIES OF PRODUCT

**Ушакова Елена Сергеевна,**

канд. техн. наук, e-mail: brels@list.ru

**Elena S. Ushakova, C. Sc. in Engineering**

**Сунчугашева Екатерина Андреевна,**

магистрант, e-mail: kvashevaya@mail.ru

**Ekaterina A. Sunchugasheva, undergraduate student**

**Ушаков Андрей Геннадьевич,**

канд. техн. наук, e-mail: elliat@mail.ru

**Andrey G. Ushakov, C. Sc. in Engineering**

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 650000, Россия,  
г. Кемерово, ул. Весенняя, 28

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 28 street Vesennyaya, Kemerovo, 650000, Russian  
Federation

#### **Аннотация:**

*В статье освещена актуальная тема создания и изучения свойств магнитных углеродных сорбентов (управляемых с помощью магнитов), применяемых для ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов на водных поверхностях. Рассмотрены магнетиты природные, синтетические (полученные в ходе химических превращений из соединений железа) и извлеченные из золы сжигания углей. Даны характеристики различным видам магнетита, используемым для получения магнитных углеродных сорбентов. В качестве сырья для получения сорбирующего углеродного скелета нефтесорбентов применяли избыточный активный ил городских биологических очистных сооружений и отходы угольных (угольная пыль) и деревообрабатывающих предприятий (древесная пыль и опилки). Приведены результаты исследования влияния природы магнетита на свойства исходных гранул и нефтесорбентов, полученных из них при пиролизе, в том числе на нефтеемкость и влагоемкость. Сделаны выводы о преимуществах магнетита из золы сжигания углей при использовании в процессах получения магнитных углеродных сорбентов: стабильность характеристик и химическая термостойкость при высоких температурах, отсутствие пыления. Выдвинуто предположение о возможной обработке исследуемого синтетического магнетита гидрофобными органическими веществами: жирность на ощупь, несмачиваемость водой, потеря массы при нагреве до 900°C.*

**Ключевые слова:** Магнитный углеродный сорбент, адсорбция, магнетит, зола углей, синтетический магнетит, пиролиз, разлив нефти.

#### **Abstract:**

*The article reviews the actual topic of creation and study of the magnetic carbon sorbents (controlled by magnets) properties used to eliminate oil/oil products on water surfaces spills. The natural, synthetic (obtained by chemical transformations of iron compounds) and extracted from the coal ash magnetite types were considered. The characteristics of magnetite types used in production of magnetic carbon sorbents are given. As a raw material for the carbon sorbent skeleton production, the excess activated sludge of urban biological treatment facilities and*

waste from coal (coal dust) and wood processing enterprises (wood dust and sawdust) were used. The results of magnetite nature influence on the properties of the initial granules and oil sorbents obtained from them by pyrolysis, including oil capacity and moisture capacity are reduced. Conclusions about the advantages of magnetite from coal combustion ash when used in the processes of obtaining magnetic carbon sorbents are drawn: stability of characteristics and chemical heat resistance at high temperatures, no dusting. It is suggested that the investigated synthetic magnetite can be processed with hydrophobic organic substances: fat content to the touch, water impermeability, weight loss when heated to 900°C.

**Key words:** Magnetic carbon sorbent, adsorption, magnetite, coal ash, synthetic magnetite, pyrolysis, oil spills.

Нефтедобывающая и нефтеперерабатывающая отрасли являются одними из источников загрязнений окружающей среды. В результате работы нефтегазового комплекса возникают серьезные экологические проблемы, связанные с аварийными разливами нефти и нефтепродуктов. Углеводородные загрязнения по степени вредного воздействия на экосистему занимают второе место после радиоактивного [1]. Влияние легких фракций кратковременно, но обладает большой токсичностью по отношению к живым организмам. Компоненты тяжелой фракции опускаются на дно, тем самым затрудняя водо- и газообмен в водоеме [2].

Для уменьшения вредного воздействия разливов необходимо в кратчайшие сроки предотвратить распространение разлива по водоему и удалить с поверхности всю нефть. В современном мире существует широкий арсенал методов, который имеется в запасе служб по борьбе с разливами нефти и нефтепродуктов: механические, термические, биологические и физико-химические [3, 4, 5, 6]. Для применения первых трех методов толщина нефтяного слоя должна составлять минимум 3 мм. Наиболее универсальными считаются физико-химические методы. Один из физико-химических методов – сорбционный, подразумевает использование сорбентов, наносимых на разлив. Преимущества данного метода – удаление разных типов нефти и нефтепродуктов, уменьшение вторичного загрязнения [7]. К нефтесорбентам предъявляют достаточно широкий перечень требований, поэтому весьма сложно подобрать нефтесорбент, который обладает всеми свойствами одновременно. При устранении последствий аварийных разливов нефти на водных объектах в основном требуется высокая нефтеемкость и плавучесть, низкая влагоемкость и возможность управлять процессом. Если сорбент применяют в определенных климатических условиях, то важным показателем становится и диапазон рабочих температур [8].

На данный момент перспективным направлением является разработка магнитоуправляемых сорбентов. Магнитные сорбенты отличаются от применяемых на сегодня аналогов возможностью управления не только ими, но и нефтяным пятном, при этом процесс сбора упрощается в целом [9].

Магнитные сорбенты можно разделить на две группы. Представителями первой являются сорбенты со структурой ядро/оболочка. Такие

сорбенты получают при помощи иммобилизации на поверхности магнитных частиц различных неорганических или органических соединений [10].

Вторая группа представляет собой композитные углеродные или полимерные сорбенты, содержащие в составе магнитные частицы [11].

Магнетит – это достаточно распространенный минерал черного цвета из класса оксидов, оксид железа (II, III). Химическая формула магнетита  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  ( $\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ ), его молекулярная масса 231,54 г/моль.

Частицы магнетита для нефтесорбента можно получить двумя классическими способами, первый заключается в переработке природного сырья, второй в синтезе из соединений железа.

Природный магнетит, представленный в виде крупных кристаллов, требует дополнительного измельчения; как правило, данный вид используется в медицине и ювелирном деле. Кроме того, в природных образцах присутствуют примеси: соединения магния (Mg), цинка (Zn), марганца (Mn), никеля (Ni), хрома (Cr), титана (Ti), ванадия (V), алюминия (Al).

Один из основных способов получения синтетического магнетита – метод совместного осаждения хлорида железа (II) и (III) в водной среде при добавлении аммиака [11]. Также существует способ получения синтетического оксида железа, который представляет собой осаждение гидроксида железа при температуре 10–22 °С из сульфата железа  $\text{FeSO}_4$  и в дальнейшем окисление его нитрат-ионами при 37–40 °С до магнетита  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  [12]. Существует способ получения частиц магнетита методом высокотемпературного восстановительного гидролиза соединений железа (III) в среде этиленгликоля в присутствии осадителя (соли низших карбоновых кислот и щелочных металлов) и стабилизатора (группа полиэлектролитов, полимеров или ПАВ) [13]. Полученные частицы используют в дальнейшем для медицины, биохимии, а также для разных видов анализов.

Альтернативным методом получения магнетита является извлечение частиц из золошлаковых отходов каменного угля и продуктов его переработки. Минеральные компоненты угля при сжигании преобразуются в золу и шлак, которые в дальнейшем отправляются на склад (золоотвалы) как отход энергетического производства.

Как правило, процесс сжигания в зависимости

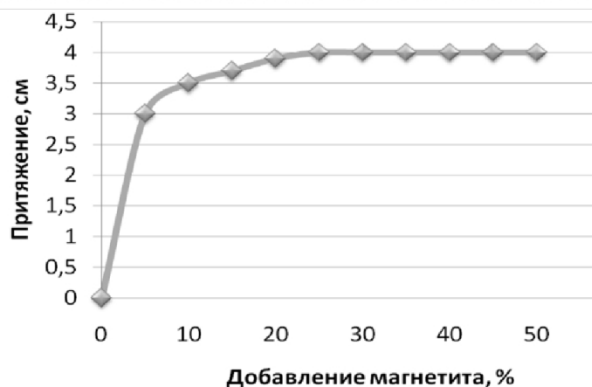


Рис. 1. График зависимости силы притяжения (расстояния от магнита до сорбента) от содержания в нефтесорбенте магнетита

Fig. 1. Dependence of attraction force (distance from magnet to sorbent) on magnetite content in oil sorbent

от технологии проходит при температуре от 1500 до 1800 °С, при данной температуре минеральные компоненты распадаются или плавятся. Железо находится в угле в составе таких минералов, как пирит ( $\text{FeS}_2$ ), сидерит ( $\text{FeCO}_3$ ) или в железоорганических соединениях. Как правило, магнетит в золе представлен в виде мелких шариков 0,1–0,5 мм и их обломков, нередко оплавленных с краев. Таким образом, в золе содержится приблизительно от 3 до 16% магнетита, а производство в год может достигать несколько десятков тысяч тонн. Выделение магнитной фракции из золы происходит с помощью магнитной сепарации в виброожиженном состоянии [14].

На кафедре химической технологии твердого топлива Кузбасского государственного технического университета имени Т.Ф. Горбачева ведется разработка магнитоуправляемого сорбента на основе промышленных углеродосодержащих отходов.

В качестве исходного сырья для получения магнитного углеродного нефтесорбента применяют животноводческие, угольные и древесные отходы, избыточный активный ил биологических очистных сооружений и магнетит.

В качестве магнитной составляющей нефтесорбентов в данной работе рассматривается магнетит, полученный синтетическим методом по ТУ 6-14-1009-79

(ООО «Анкер») и из золы сжигания углей (Инжиниринговый центр Иркутского государственного университета по переработке техногенного сырья).

Органическое связующее (отходы животноводства, ил) и наполнитель (угольные или древесные отходы) и магнетит гранулируют на барабанном грануляторе. Проходя по рабочей поверхности, частицы материала сближаются, что создает возможность для образования тонких пленок воды между частицами окатываемого материала. Процесс гранулирования методом окатывания обусловлен действием капиллярно-адсорбционных сил сцепления между частицами и последующим

уплотнением структуры за счет сил взаимодействия между ними в плотном динамическом слое [15].

При недостатке связующего вещества образуется ячеистая хрупкая структура. Однако при переизбытке связующего происходит налипание смеси на внутреннюю поверхность аппарата, что снижает эффективность процесса окатывания. Согласно ранее проведенным лабораторным исследованиям, для получения оптимального состава сорбента необходимо использовать 21% мас. связующего в смеси для окатывания [16].

Цель работы – изучить влияние природы магнетита на процесс получения и свойства нефтесорбентов.

В состав сорбента магнетит вводится на стадии смешения связующего и наполнителя. В процессе гранулирования происходит распределение частиц магнетита в объеме сорбента. В рамках лабораторного исследования был проведен эксперимент по зависимости силы притяжения разрабатываемых нефтесорбентов с различным содержанием магнетита от расстояния до магнита (рисунок 1). Для эксперимента применялся неодимовый магнит квадратной формы серии 25×25×8 №96, массой 67 г и силой на отрыв 16 кг, коэрцитивной силой 955 кА/м, магнитной энергией 263–287 кДж/м<sup>3</sup>, с рабочей температурой 80 °С.

При введении 5–10% мас. магнетита в сорбент максимальное притяжение наблюдается на расстоянии 35 мм, после дополнительного введения магнетита это значение практически не изменяется. На практике для увеличения расстояния от магнита до нефтесорбента необходимо увеличивать магнитную силу поля, увеличивая размер или выбирая другой материал магнита [17].

Для того, чтобы выявить зависимость характеристик сорбента от природы магнетита, необходимо провести сравнительные анализы самих магнетитов, гранул и сорбента.

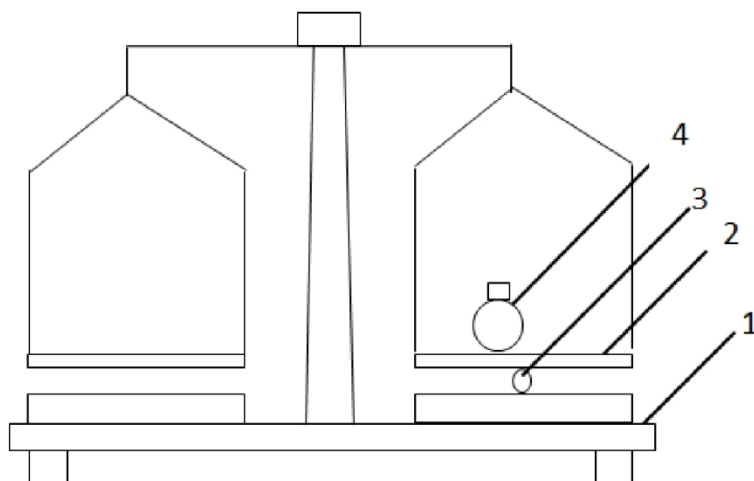


Рис. 2. Схема гравиметрической установки для определения величины разрушающей нагрузки на гранулу: 1 – лабораторные двухчашечные весы; 2 – платформа; 3 – исследуемый образец; 4 – груз известной массы

Fig. 2. The scheme of the gravimetric installation to determine the size of destructive load on the granules: 1 – laboratory two-plate scales; 2 – platform; 3 – study sample; 4 – known mass

#### Методики изучения характеристик магнетита

Основные определяемые характеристики магнетита: цвет, запах, насыпная плотность, влажность, зольность, взаимодействие магнетита с водой, образование характерного «ежика» при воздействии магнита, намагниченность.

Для того, чтобы сравнить намагниченность разных видов магнетита, необходимо воздействовать на него магнитом. В результате образуются характерные «ежики», высота которых может стать критерием намагниченности.

Насыпная плотность – количество сыпучего продукта, находящегося в свободно засыпанном состоянии в определенной единице объема; определяется как отношение массы свободно засыпанного материала к объему этого материала.

Определение содержания магнитной фракции проводили согласно ГОСТ 16589-86 «Руды железные типа железистых кварцитов. Метод определения железа магнетита», влажность согласно ГОСТ 12764-73 «Руды железные, концентраты, агломераты и окатыши. Метод определения влаги», зольность по ГОСТ Р 55661-2013 «Топливо твердое минеральное. Определение зольности».

#### Методики анализа гранул и сорбентов

Содержание влаги определяли по ГОСТ 12597-67 «Сорбенты. Метод определения массовой доли воды в активных углях и катализаторах на их основе», зольность – ГОСТ 7657-84 «Уголь древесный. Технические условия», плотность насыпная – ГОСТ 16190-70 «Сорбенты. Метод определения насыпной плотности», выход летучих и нелетучих веществ – ГОСТ 6382-2001 «Топливо твердое минеральное. Методы определения выхода летучих

веществ», а водопоглощение согласно ГОСТ 21290-75 «Брикеты угольные. Метод определения водопоглощения».

Плотность определяли расчетным методом по уравнению:

$$\rho = \frac{6m}{\pi d^3},$$

где  $\rho$  – плотность гранул, кг/м<sup>3</sup>;

$m$  – масса гранулы, кг;

$d$  – средний диаметр в трех измерениях, м.

Определение разрушающей нагрузки при сдавливании (прочность на сжатие).

Разрушающую нагрузку определяли на приборе, представленном на рисунке 2, конструкция которого представляет собой модифицированные лабораторные двухчашечные весы. Под центр одной из чаш весов помещали исследуемый образец гранул. После того, как чаша соприкасалась с образцом, на нее аккуратно помещали гири известной массы. Первоначальная нагрузка на образец – 100 г, в дальнейшем увеличиваем ее по 50 г до критического значения, когда образец будет поддаваться разрушению. Общая масса гирь на чаше весов соответствует значению разрушающей нагрузки на образец. Среднее значение разрушающей нагрузки определяли по результатам 5 определений.

#### Обсуждение результатов

Внешне синтетический магнетит представляет собой сыпучий материал матового черного цвета с частицами различного размера, в том числе в нем содержатся пылевидные частицы. Магнетит из золы сжигания углей, напротив, имеет металлический блеск и равномерный размер частиц.

При определении зольности было обнаружено,



Таблица. Результаты исследований свойств магнетитов  
Table. The properties of magnetite

Параметры	Исходный магнетит		Прокаленный магнетит	
	Синтетический	Из золы углей	Синтетический	Из золы углей
Цвет	Черный матовый	Черный блестящий	Ярко бурый	Черный блестящий
Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	1364	2242	1018	2242
Влажность, %	0	0	0	0
Зольность, %	98,98	99,75	-	-
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

что синтетический магнетит после нагрева до 900 °С менял цвет на ярко-бурый и после охлаждения не восстанавливал окраску. Причина указанного явления – переход оксида железа (II) в оксид железа (III). В свою очередь магнетит из золы сжигания углей не изменял цвет и оставался черным и блестящим, это логически обосновано, так как изначально он был получен при высоких температурах.

В связи с тем, что магнетит в составе сорбента подвергается воздействию высоких температур, проведение анализа образцов магнетита, прокаленных при температуре 600 °С в течение 30 минут, стало необходимостью (таблица).

Так как нефтесорбент в дальнейшем предназначен для очистки водоемов, важной характеристикой является взаимодействие магнетита с водой. Согласно проведенным экспериментам, было выявлено, что синтетический магнетит при контакте с водой не смачивается и не оседает на дно емкости, а находится на водной поверхности. Но прокаленный синтетический магнетит ведет себя внешне так же, как и магнетит из золы сжигания

углей, и при взаимодействии с водой переходит во взвешенное состояние, но в отличие от прокаленных образцов магнетита золы после воздействия на суспензию магнитом не весь магнетит оседает на дно. Таким образом, можно сделать предположение, что синтетический магнетит обработан органическими составами, которое при нагреве разрушается. Также негативной является вероятная частичная потеря намагниченности синтетического магнетита.

Таким образом, использование магнетита из золы углей, вероятно, является более обоснованным, чем использование синтетического: имеются стабильные характеристики, не изменяющиеся при нагреве, более равномерный гранулометрический состав, магнетиты не пылят (не будут создавать запыленность на производстве).

При сравнительном анализе образцов гранул и сорбентов с различными видами магнетита обнаружены расхождения.

Одной из важных характеристик является влажность материала. Содержащаяся в гранулах и сорбентах влага делает их тяжелее, увеличивая тем самым затраты на транспортировку. При хранении же в зимнее время наблюдается смерзание материала.

Из данных исследований видно, что влажность в гранулах выше, чем в сорбентах (рисунок 3), что связано со значительным присутствием гидрофильных групп в материале до термической обработки. При пиролизе слабые связи (в основном Н-О, Н-Н, С-Н) разрушаются, что приводит к увеличению гидрофобных соединений.

Как видно, водопоглощение исходных гранул выше, чем аналогичный параметр у сорбентов, что объясняется также наличием гидрофильных групп в материале. При этом



Рис. 3. Показатели влажности  
Fig. 3. Humidity

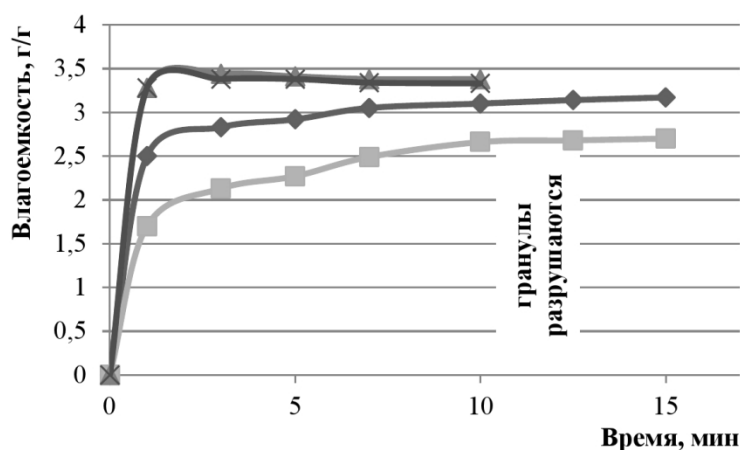


Рис. 4. Показатели влагоемкости:

♦ – сорбент с магнетитом из золы углей; ■ – сорбент с синтетическим магнетитом; ▲ – гранулы с магнетитом из золы углей; ✕ – гранулы с синтетическим магнетитом

Fig. 4. Moisture capacity:

♦ – sorbent with coal ash magnetite; ■ – sorbent with synthetic magnetite;  
▲ – granules with coal ash magnetite; ✕ – granules with synthetic magnetite

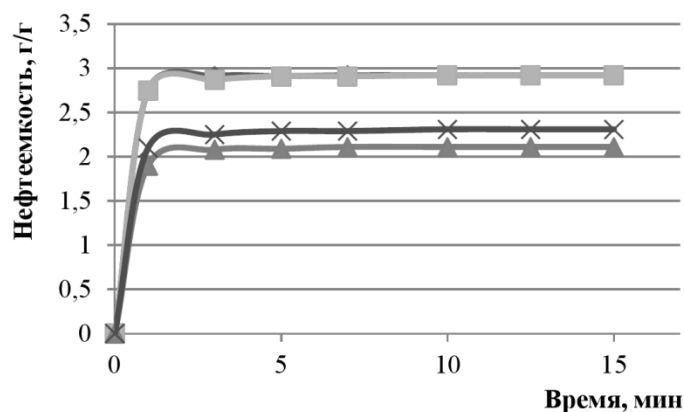


Рис. 5. Показатели нефтеемкости:

♦ – сорбент с магнетитом из угольных отходов; ■ – сорбент с синтетическим магнетитом;  
▲ – гранулы с магнетитом из угольных отходов; ✕ – гранулы с синтетическим магнетитом

Fig. 5. Indicators of oil intensity:

♦ – sorbent with coal ash magnetite; ■ – sorbent with synthetic magnetite;  
▲ – granules with coal ash magnetite; ✕ – granules with synthetic magnetite

водопоглощение гранул как с синтетическим магнетитом, так и из золы сжигания углей идентичны. А вот влагоемкость сорбентов с магнетитом из золы сжигания углей выше, чем у сорбентов с синтетическим магнетитом. Причина разницы водопоглощения сорбентов с различными видами магнетита в настоящее время не определена.

Также явно то, что гранулы после 10 минут взаимодействия с водой начинают разрушаться из-за распирающего изнутри действия влаги.

На рисунке 5 изображены графики относительной нефтеемкости.

При эксперименте было выявлено, что во всех четырех образцах основная сорбция нефти (более

76%) приходится на первые 2 минуты. После величина сорбции возрастает до 95% и впоследствии увеличивается незначительно. После 10 минут взаимодействия сорбата с адсорбтивом наступает сорбционное равновесие. На временном участке от 2 до 10 минут существенную роль играет внутренняя диффузия, обуславливающая проникновение сорбируемого вещества вглубь структуры сорбента в доступные по размерам поры, позволяющая нефтепродукту вновь сорбироваться на внешней поверхности сорбента.

Важным моментом зависимостей является факт, что нефтеемкость сорбентов и гранул практически не зависит от типа магнетита.

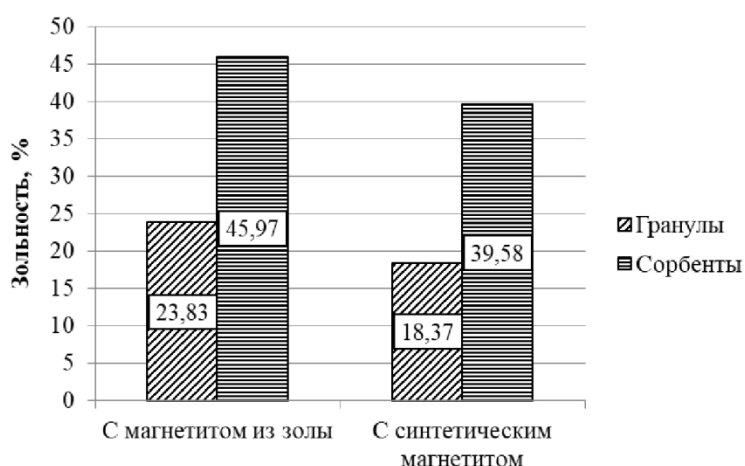


Рис. 6. Показатели зольности при температуре 900 °С  
Fig. 6. Ash content at 900 °C

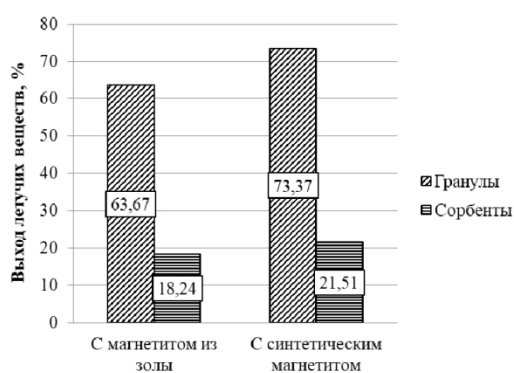


Рис. 7. Показатели выхода летучих веществ  
Fig. 7. Volatile yields

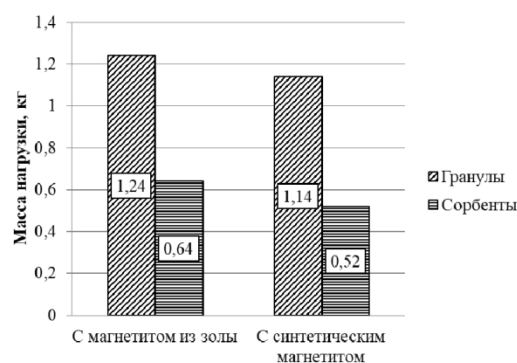


Рис. 8. Показатели прочности на сжатие  
Fig. 8. Compressive strength indicators

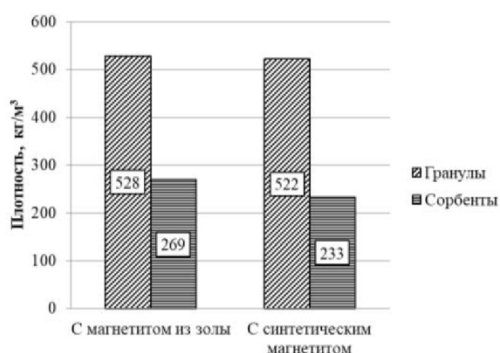


Рис. 9. Показатели плотности  
Fig. 9. Density

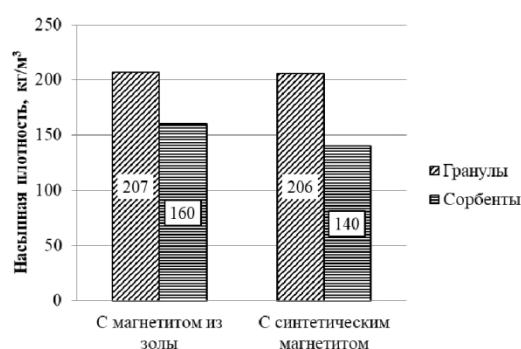


Рис. 10. Показатели насыпной плотности  
Fig. 10. Bulk density Indicators

Зольность является также важным показателем в случае применения сжигания отработанных сорбентов как метода их утилизации. Массовая доля золы – это показатель негорючего (на безводную массу) остатка, который создается из минеральных примесей вещества при его полном сгорании (рис. 6).

Из усредненных показателей видно, что в

общем зольность сорбентов выше зольности гранул, из которых они получены, приблизительно в 2 раза. Объясняется это разложением органической части материала при пиролизе, в то время как зольные компоненты не улетучиваются, и переходят нефтесорбент.

В результате исследований была выявлена разница между показателями зольности гранул и

сорбентов с разными видами магнетита. Объяснением этому может послужить возможная обработка синтетического магнетита гидрофобизаторами, которые разлагаются только при достижении 800 °С. Показатель зольности у веществ с синтетическим магнетитом ниже в среднем на 15%, чем показатель зольности у веществ с магнетитом из золы.

Уменьшение прочности сорбента на 50% по сравнению с гранулами является негативным фактором и объясняется уменьшением количества групп С-Н, С-О, Н-О, а следовательно, снижением межмолекулярного взаимодействия внутри сорбента.

Влияние природы магнетита на прочность сказывается относительно через плотность частиц. С ростом данного показателя становится больше и показатель насыпной плотности.

Пониженные значения плотности сорбентов по сравнению с исходными гранулами объясняется удалением почти половины массы гранул в течение пиролиза, при этом размер гранул значительно не

изменяется.

Таким образом, тип магнетита влияет в основном на менее значимые параметры сорбентов, такие как плотность, влажность, но при этом практически не влияет на способность сорбентов и гранул сорбировать нефтепродукты. Неизученным и необъяснимым остается в настоящее время преимущество сорбентов с синтетическим магнетитом по показателю влагоемкости. Для установления закономерности необходимы дополнительные испытания и исследования. Кроме того, для окончательного выбора магнетита для использования их в нефтесорбентах необходимо изучение влияния его природы на магнитные свойства гранул и сорбентов.

При этом нужно учитывать, что магнетит из золы сжигания углей при использовании в процессах получения магнитных углеродных сорбентов имеет некоторые неоспоримые преимущества: стабильность характеристик и химическая термостойкость при высоких температурах, отсутствие пыления.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вишняков, Д.Я. Экономический анализ методов ликвидации последствий аварийных разливов нефти / Д.Я. Вишняков, А.Л. Новоселов, А.А. Авраменко, В.К. Загвоздкин, И.А. Заикин // *Экология и промышленность России*, 2005. – № 5. – С. 42–45.
2. Van Hamme JD. Physiological aspects. Part 1 in series of papers devoted to biosurfactants in microbiology and biotechnology / Van Hamme JD, Singh A, Ward OP. – *Biotechnology Advance*, 2006. – V.26. – P. 604–620.
3. Патин, С.А. Нефтяные разливы и их воздействия на морскую среду и биоресурсы. – М.: ВНИРО, 2008. – 508 с.
4. Воробьев, Ю.Л. Предупреждение и ликвидация аварийных разливов нефти и нефтепродуктов / Ю.Л. Воробьев, В. А. Акимов, Ю.И. Соколов. – М.: Иноктаво, 2005. – 368 с.
5. Бескдид, П.П. Загрязнение морской среды нефтью и нефтепродуктами / П.П. Бескдид, Е.Г. Дурягина // *Эксплуатация морского транспорта*, 2010. – № 4. – С. 51–55.
6. Мерициди И.А. Техника и технологии локализации и ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов / И.А. Мерициди [и др.]. – СПб: НПО «Профессионал», 2008. – 824 с.
7. Кудайбергенов, К.К. Разработка и изучение карбонизованных сорбентов для очистки воды от нефтяных загрязнений: дис. ...на соиск. ст. PhD. – Казахстан, 2012.
8. Степаньян, О.В. Влияние нефти и нефтепродуктов на морфофункциональные особенности морских макроводорослей / О.В. Степаньян, Г.М. Воскобойников // *Биология моря*, 2006. – № 4. – С. 241–248.
9. Артемов, А.В. Сорбционные технологии очистки воды от нефтяных загрязнений / А.В. Артемов, А.В. Пинкин // *Вода: химия и экология*, 2008. – № 1. – С. 19–25;
10. Сироткина, Е.Е. Полипропиленовые волокнистые материалы для сорбции нефти и нефтепродуктов с поверхности воды / Е.Е. Сироткина, Л.Ю. Новоселова // *Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе*, 2005. – № 10. – С. 14–21.
11. Аляри В.В. Магнитные сорбенты на основе наночастиц оксидов железа для выделения и концентрирования органических соединений / В.В. Аляри, С.Г. Дмитриенко, Е.В. Кочук, В.В. Толмачева // *Журнал аналитической химии*, 2016. – № 4. – С. 339–35.
12. Патент 2620432 Российская Федерация, МПК C01G 49/08. Способ получения магнетита / Юртов Е.В., Мурадова А.Г., Зайцева М.П. (Россия). – № 2016126952, заявл. 05.07. 2016; опубл. 25.05.2017, Бюл. № 1.



13. Патент 2610506 Российская Федерация, МПК C01G 49/08. Способ получения магнетита (варианты) / Гришечкина Е.В., Досовицкий А.Е., Михлин А.Л. (Россия). – № 2015154755, заявл. 21.12.2015; опубл. 13.02.2017, Бюл. № .
14. Арсентьев, В.А. Новая технология сухого обогащения золы уноса угольных электростанций на основе методов прикладной минералогии / В.А. Арсентьев, Е.Л. Котова // Записки Горного института, 2016. – Т. 220. – С. 521–525.
15. Чубарь, Т.В. Динамика сорбции из жидких сред / Т.В. Чубарь, М.М. Хворое, В.Н. Высоцкая // Коллоидная химия, 1978. – №3. – С. 586–589.
16. Брюханова, Е.С. Процессы получения нефтесорбента пиролизом гранул на основе древесных отходов и органического связующего в слоевых аппаратах: дис. ... на соиск. ст. канд. наук. – Томск, 2012.
17. Квашева, Е.А. Введение магнетита в нефтесорбент для придания ему магнитоуправляемых свойств / Е.А. Квашева, Е.С. Ушакова, И.В. Козлова // Всероссийская молодежная научно-практическая конференция «Экологические проблемы промышленно развитых и ресурсодобывающих регионов: пути решения»: сб. статей. – 2016. – Режим доступа: <http://science.kuzstu.ru/wp-content/Events/Other/2016/ekoprom/egpp/pages/Articles/60.pdf> – [14.03.2019].

## REFERENCES

1. Vishnyakov D.Ya. Economic analysis of oil spill response mitigation techniques / D.Ya. Vishnyakov, A. L. Novoselov, A.A. vramenko, V.K. Zagvozdkin, I.A. Zaikin // Ecology and Industry of Russia, 2005. – No 5. – P. 42–45. (rus)
2. Van Hamme JD. Physiological aspects. Part 1 in series of papers devoted to biosurfactants in microbiology and biotechnology / Van Hamme JD, Singh A, Ward OP. Biotechnology Advance, 2006. – V. 26. – P. 604–620.
3. Patin, S.A. Oil spills and their impacts on the marine environment and bioresources. – M.: VNIRO, 2008. – 508 p. (rus)
4. Vorobiev, Yu.L. Prevention and liquidation of accidental spills of oil and oil products / Yu. L. Vorobev, V.A. Akimov, Yu.I. Sokolov. – M.: Inoktavo, 2005. – 368 p. (rus)
5. Beskidid, P.P. Pollution of the marine environment by oil and oil products / P.P. Beskidid, E.G. Duryagin // Operation of sea transport, 2010. – No 4. – p. 51–55. (rus)
6. Mericidy I.A. Technique and technology of localization and liquidation of oil and petroleum products emergency spills / I. A. Mericidy [et al.]. – SPb: NPO Professional, 2008. – 824 p. (rus)
7. Kudaibergenov, K.K. Development and study of carbonized sorbents for water purification from oil pollution: dissertation. – Kazakhstan, 2012. (rus)
8. Stepanyan, O.V. The influence of oil and oil products on the morphological and functional features of marine macroalgae / O.V. Stepanyan, G.M. Voskoboinikov // Sea Biology, 2006. – No 4. – p. 241–248. (rus)
9. Artyomov, A.V. Sorption technologies of water purification from oil pollution / A.V. Artyomov, A.V. Pinkin // Water: chemistry and ecology, 2008. – No 1. – P. 19–25. (rus)
10. Sirotkina, E.E. Polypropylene fibrous materials for the sorption of oil and oil products from the water surface / E.E. Sirotkina, L.Yu. Novoselova // Environmental Protection in the Oil and Gas Complex, 2005. – No. 10. – P. 14–21. (rus)
11. Apary V.V., Magnetic sorbents based on nanoparticles of iron oxides for the isolation and concentration of organic compounds / V.V. Apary, S.G. Dmitrienko, E.V. Kochuk, V.V. Tolmacheva // Journal of Analytical Chemistry, 2016. – No 4. – P. 339–356. (rus)
12. Патент 2620432 Russian Federation, IPC C01G 49/08. The method of producing magnetite / Yurtov E. V., Muradova A.G., Zaitseva M.P. (Russia). – No 2016126952, announced 05.07.2016; publ. 25.05.2017 Byul. No 15. (rus)
13. Патент 2610506 Russian Federation, IPC C01G 49/08. The method of producing magnetite (options) / Grishechkina E.V., Dosovitsky A.E., Mikhlin A.L. (Russia). – No 2015154755, announced 21.12.2015; publ. February 13, 2017, Byul. No 5. (rus)
14. Arsentev, V.A. New technology of dry enrichment of fly ash from coal-fired power plants based on applied mineralogy methods / V.A. Arsentiev, E.L. Kotova // Zapiski Mining Institute, 2016. – T. 220. – p. 521–525. (rus)

15. Chubar, T.V. Dynamics of sorption from liquid media / T.V. Chubar, M.M. Ailing, V.N. Vysotskaya // Colloid Chemistry, 1978. – No 3. – p. 586–589. (rus)
16. Bryukhanova, E.S. Oil sorbent obtaining processes of granules pyrolysis based on wood waste and organic binder in layered apparatus: dissertation. – Tomsk, 2012. (rus)
17. Kvashevaya, E.A. Magnetically controlled properties of oil sorbent by introduction of magnetite / E.A. Kvashevaya, E.S. Ushakova, I.V. Kozlova // All-Russian Youth Scientific-Practical Conference Environmental Problems of Industrialized and Resource-Producing Regions: Solutions. – 2016. – Access mode: <http://science.kuzstu.ru/wp-content/Events/Other/2016/ekoprom/egpp/pages/Articles/60.pdf> – [03/14/2019]. (rus)

Поступило в редакцию 11.03.2019

Received 11 March 2019