



Национальная академия наук Беларуси



**СБОРНИК ТРУДОВ
МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ
НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ
НАУК БЕЛАРУСИ**

Том IV

Минск
“Логвинов”
2004

ББК 65
С 82

Научная редакция

С.А. Жданок, академик НАН Беларуси, доктор технических наук
Н.С. Казак, академик НАН Беларуси, доктор физико-математических наук

Рекомендовано к опубликованию Отделением физико-технических наук НАН
Беларуси (исх. № 26/156 от 15 декабря 2004 года).

Рекомендовано к опубликованию решением Бюро отделения физики математики
и информатики НАН Беларуси № 16 от 19 ноября 2004 г.

Рецензенты

- физико-математическим наукам:

С.А. Багинич, доктор физико-математических наук,
С.В. Гапоненко, член-корреспондент НАН Беларуси,
доктор физико-математических наук,
А.Л. Гурский, доктор физико-математических наук,
Е.В. Докторов, доктор физико-математических наук,
Ф.М. Кириллова, член-корреспондент НАН Беларуси,
доктор физико-математических наук,
В.В. Кудряшов, кандидат физико-математических наук,
С.В. Лемешевский, кандидат физико-математических наук,
В.В. Машко, доктор физико-математических наук,
А.П. Сайко, доктор физико-математических наук,
В.И. Сарванов, кандидат физико-математических наук,
И.В. Филатов, кандидат физико-математических наук,
О.Л. Швед, кандидат физико-математических наук

- по техническим наукам:

А.В. Алифанов, доктор технических наук, заведующий
отделом ФТИ,
П.Н. Богданович, доктор технических наук, заведующий
кафедрой БелГУТ,
Г.М. Васильев, кандидат технических наук, заведующий
сектором ИТМО им. А.В. Лыкова,
Л.Л. Васильев, доктор технических наук, заведующий
лабораторией ИТМО им. А.В. Лыкова,
В.А. Велигурский, доктор технических наук,
заведующий лабораторией ИМИНМАШ,

Л.М. Виноградов, кандидат химических наук, ведущий
научный сотрудник ИТМО им. А.В. Лыкова,
П.Н. Гракович, кандидат технических наук, заведующий
отделом ИММС,
Л.Р. Дудецкая, кандидат технических наук, заведующий
лабораторией ФТИ,
С.Ф. Ермаков, доктор технических наук, заведующий
лабораторией ИТМО им. А.В. Лыкова,
Н.Н. Ишин, кандидат технических наук, заведующий
лабораторией ИМИНМАШ,
А.А. Лухвич, доктор технических наук, заведующий
лабораторией ИПФ,
Н.Н. Лучко, старший научный сотрудник ИТМО им. А.В.
Лыкова,
О.Г. Пенязков, кандидат физико-математических наук,
заведующий лабораторией ИТМО им. А.В. Лыкова,
М.И. Петраковец, доктор технических наук, главный
научный сотрудник ИММС,
Ю.Л. Солитерман, кандидат технических наук, ведущий
научный сотрудник ИМИНМАШ,
С.Е. Чигринов, кандидат физико-математических наук,
заместитель генерального директора ОИЭЯИ-Сосны,
В.С. Шевченко, доктор технических наук, заведующий
лабораторией ИМИНМАШ,
А.П. Якушев, доктор технических наук, заместитель
генерального директора ОИЭЯИ-Сосны

Редакционная группа

А.А. Ванин, И.Д. Карпенко, В.В. Любан, С.О. Мамчик, Е.О. Мардосевич, С.Г. Пашкевич,
В.А. Писарев, П.В. Расторгуев, Н.М. Ровбель, А.Л. Худолей, Е.С. Шмелев

С 82 СБОРНИК ТРУДОВ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ НАЦИОНАЛЬНОЙ
АКАДЕМИИ НАУК БЕЛАРУСИ. Том 4. – Мн.: ИП Логвинов, 2004. – 312 с.
ISBN 985-6701-55-4

ББК 65

ISBN 985-6701-55-4

© ИП Логвинов. Оформление, 2004

Литература

1. Сюняев З.И., Сюняев Р.З., Сафиева Р.З. Нефтяные дисперсные системы. – М.: Химия. – 1990. – С. 226.
2. Whiteoak D. The Shell Bitumen Handbook. – Shell Bitumen UK, 1991.
3. Леоненко В.В., Сафонов Г.А. Некоторые аспекты модификации битумов полимерными материалами // Химия и технология топлив и масел. – 2001. – № 5. – С. 43-45
4. Розенталь Д.А., Таболина Л.С., Федосова В.А. Модификация свойств битумов полимерными добавками. – М.: ЦНИИТЭнефтехим. – 1988. – С. 48.
5. Lu X. On Polymer Modified Road Bitumens. – Stockholm. KTH Högskolestryckeriet. – 1997.
6. Ткачев С.М., Худович И.М., Кульпо М.М. Влияние органических кислот на свойства битумов // Успехи коллоидной химии и физико-химической механики: Тез. докл. II междунар. конф. "Коллоид-2003" Минск. – 2003. – С. 179.
7. Худович И.М. Исследование влияния органических кислот на дисперсность битумов // VII Республиканская научно-техническая конференция студентов и аспирантов: Тез. докл. конф. Минск. – 2003. – С. 163.
8. Ткачев С.М., Хорошке С.И., Али Халид А.М. Физико-химические и реологические свойства тяжелого гудрона // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі, серыя хімічных навук. – 2001. – № 4. – С. 97-100.

УДК 536.46

НОВЫЙ РЕКУПЕРАТИВНЫЙ МЕТОД РЕГЕНЕРАЦИИ ЦЕОЛИТА С РЕГУЛИРУЕМОЙ ТЕМПЕРАТУРОЙ ТЕРМООБРАБОТКИ.

Е.С. Шмелев

Институт тепло- и массообмена НАН Беларуси, г. Минск, hmti@tut.by

Utilization of Filtration Combustion (FC) technique for sorbents regeneration is a promising alternative method, since it provides fairly complete burnoff of evaporated VOCs and let one use the heat of its combustion to maintain the process, which considerably reduces expenditures of energy.

На сегодняшний день одной из особенно важных представляется проблема переработки и вторичного использования промышленных отходов. В числе прочих разработаны методы регенерации машинного и трансформаторного масла очисткой цеолитом. Однако, после пропускания некоторого количества масла через цеолит, последний полностью теряет свои сорбционные свойства.

Известен термовакuumный метод регенерации цеолитов [1]. Но термовакuumный метод не позволяет полностью очистить цеолит. В данном методе происходит испарение части загрязняющих веществ с поверхности цеолита, но значительная часть (твердая фаза) остается. Предпринимаемые ранее попытки отжигать органические загрязнители не достигали успеха вследствие значительных выбросов недогоревшей органики в атмосферу.

Предлагаемый метод отжига с использованием фильтрационного горения (ФГ) представляет интерес, так как включает дожиг отходящих газов и использование загрязнителей в качестве дополнительного топлива, что приводит к экономии энергоресурсов на реализацию процесса. Процессы фильтрационного горения являются в достаточной степени изученными.[2,3] Цель данной работы заключается в выборе приемлемого режима обработки дисперсных материалов. Очень интересным, простым в исполнении, но экологически чистым является вариант с прохож-

ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

дением волны ФГ через слой сорбента[4]. Схема установки, на которой осуществлялось экспериментальное исследование данного варианта очистки сорбента, приводится на рисунке 1.

Отжиг проводился во встречной волне. Причина данного выбора объяснена на рисунках 2а и 2б. В обоих режимах при движении фронта горения с ним движутся области повышенных температур до и после него (перед ним и позади него) область перед фронтом горения проходит по неотожженному цеолиту, вызывая кипение масла, адсорбированного им. В случае спутного горения пары беспрепятственно бы выходили в атмосферу, что является недопустимым и приводит к необходимости включения в систему дополнительного устройства дожигания выходящих газов, тем самым усложняя установку и увеличивая экономические и энергетические затраты на единицу объема. При встречном горении пары масла проходят через фронт горения, сгорая там, в то же время, являясь дополнительным горючим, уменьшая при этом энергозатраты. Экспериментальная установка состояла из реактора Р – кварцевого цилиндра, диаметром 0.07 м. и высотой 0.4 м., двух ротаметров R и двух регулировочных вентилей V. Засыпка реактора состояла из следующих слоев: шарики Al_2O_3 , затем цеолит, затем снова инертные шарики Al_2O_3 . Причина данного сочетания заключается в необходимости равномерности условий отжига для всего объема цеолита. Шарики были подобраны так, чтобы коэффициент свободного объема был равен коэффициенту цеолита – 0.4. Природный газ и воздух подавались через ротаметры R, с помощью которых и вентилей V регулировалось их количество. Поджиг происходил с помощью искрового устройства L в инертных шариках при стехиометрии. Внутри цилиндра, по его оси был вставлен толстый кварцевый капилляр, в который вводилась термопара. Преимущество такого введения термопары заключается в ее подвижности и, следовательно, возможности измерения температуры одной термопарой по всей высоте реактора. Скорость фронта горения определялась с помощью измерительной линейки и секундомера. Результаты эксперимента представлены в следующей таблице.

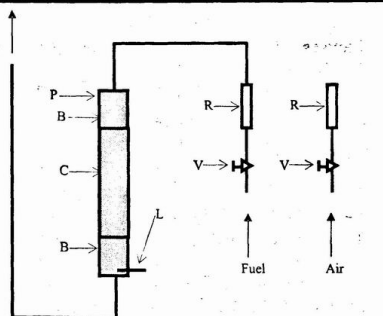


Рис. 1. Экспериментальная установка отжига цеолита с прохождением волной ФГ через слой цеолита: Р-кварцевый реактор, R-ротаметры, V-регулирующие вентили, В-засыпка из шариков Al_2O_3 , С-цеолит, L-искровое устройство поджига

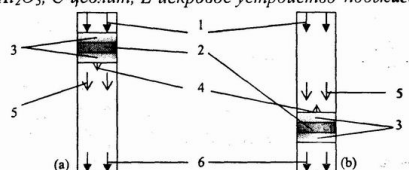


Рис. 2. а, б. Схемы экспериментов в режиме спутной (а) и встречной (б) волны: 1-смесь природного газа с воздухом; 2-область горения; 3-область повышенной температуры; 4-направление движения фронта горения; 5-направление движения паров масла, образованных кипением масла, содержащегося в порах цеолита, за счет подхода тепловой волны и повышения температуры; 6-выход газов из системы

Таблица 1. Данные стационарного режима

Номер опыта	Воздух, л/ч	Газ, л/ч	В/Г	Скорость волны, см/ч	Температура, °С
1	1000	75	13	10	1000
2	1000	50	20	12	1080
3	1000	23	43	18	1100
4	1000	80	12,5	10	920

Следует отметить, что в эксперименте 3, несмотря на значительно меньший расход газа, чем в опытах 1, 2, 4, скорость фронта волны горения значительно больше. Это показывает, что расходы газа и воздуха в эксперименте 3 более оптимальны.

В случаях 1, 2, 4 скорость волны не постоянна. Сначала фронт горения доходит до еще необожженного цеолита и, за счет избытка горючего, начинает гаснуть, останавливаясь, но температура еще остается достаточной ($>700^{\circ}\text{C}$) для отжига ближайшего пласта цеолита. Когда слой отожжен, исчезает избыток горючего, и волна начинает заново разгораться и набирать скорость. После того, как волна доходит до необожженного цеолита, цикл повторяется.

Но даже в случае 3, скорость волны остается значительно ниже теоретически рассчитанной (40-50 см/ч). Это дает основание полагать, что возможно значительно оптимизировать установку.

В результате приведенных экспериментов на данном варианте установки установлено, что при обжиге гранулы цеолита не разрушаются, процесс отжига во встречной волне является относительно экологически чистым, так как газообразные продукты разложения и пары масел образуются перед зоной горения и сгорают, проходя через нее, с образованием углекислого газа и воды. Экспериментальные результаты и теоретические оценки [4] показывают, что при оптимизации процесс может быть относительно дешевым. Однако, несмотря на то, что гранулы цеолита не разрушаются в данной методике, вследствие высокой температуры обработки происходит их частичное спекание, что приводит к уменьшению сорбционных свойств цеолита. Поэтому, предлагается новый метод термообработки сорбентов с использованием ФГ вне цеолита. Схема установки, на которой осуществлялось экспериментальное исследование данного варианта очистки сорбента, приводится на рисунке 3.

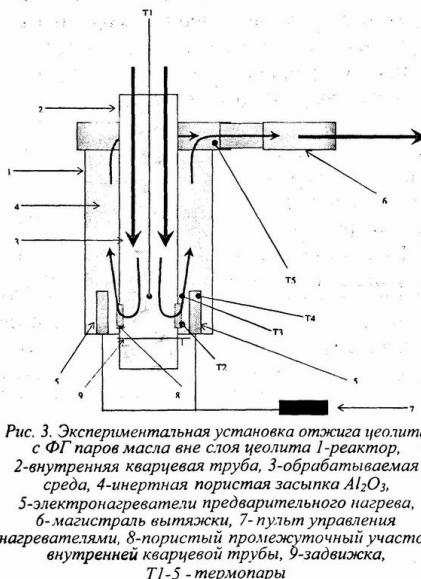


Рис. 3. Экспериментальная установка отжига цеолита с ФГ паров масла вне слоя цеолита 1-реактор, 2-внутренняя кварцевая труба, 3-обрабатываемая среда, 4-инертная пористая засыпка Al_2O_3 , 5-электронагреватели предварительного нагрева, 6-магистраль вытяжки, 7-пульт управления нагревателями, 8-пористый промежуточный участок внутренней кварцевой трубы, 9-задвижка, T1-5 - термометры

В начале эксперимента реактор (1) прогревается за счет теплоты от электронагревателей предварительного нагрева (5) при циркуляции воздуха, причем, в области, где происходит дожигание углеводородов, устанавливается температура 700-750 °С. Затем обрабатываемый цеолит просыпается с небольшой скоростью через внутреннюю кварцевую трубу реактора (2). При прохождении порции загрязненного цеолита через зону повышенной температуры происходило испарение масла. Пары масла вместе с воздухом поступали через пористый промежуточный участок внутренней кварцевой трубы (8) в межтрубное пространство, где и происходило их сгорание. Горячие продукты сгорания (избыточный воздух, CO_2 , H_2O) проходили далее через межтрубное пространство, заполненное инертной засыпкой Al_2O_3 (4), и попадали в магистраль вытяжки (6). Имеет место передача тепла от горячих продуктов сгорания в межтрубном участке к свежей порции воздуха и необработанного цеолита во внутренней трубе, а также к участку реактора, предшествующему зоне сгорания в межтрубном участке.

Таким образом, предлагаемый вариант очистки цеолита с ФГ паров масла вне слоя цеолита имеет ряд значительных преимуществ:

1. **Снижение максимальной температуры цеолита** за счет протекания процесса ФГ вне слоя цеолита.

2. **Управление максимальной температурой обрабатываемого цеолита** за счет регулирования мощности нагревателей предварительного нагрева, скорости движения цеолита по внутренней трубе реактора.

3. Как следствие предыдущего пункта – **возможность применения данного метода к другим, менее термостойчивым сорбентам.**

4. **Повышенная эффективность и экономичность метода**, за счет

а) предварительного прогрева обрабатываемого цеолита, а также воздуха вследствие рекуперации тепла от продуктов сгорания во внутреннюю трубу реактора;

б) возможности сверхadiaбатичного горения вследствие рекуперации тепла от горячих продуктов сгорания к участку реактор, предшествующему зоне горения;

в) как следствие пп. а) и б), – возможности обработки цеолита исключительно за счет использования сорбированной в нем органики, без внешних источников тепла, а также, снижение затрат на обработку сорбентов, содержащих недостаточное для самоподдерживающегося без внешних источников тепла процесса, количество органики.

Работа выполнялась при финансовой поддержке Национальной программы стипендий Всемирной Федерации Ученых (WFS).

Литература

1. <http://user.bdn.odessa.ua/alliance/ceolite.htm> – 27.08.2004 г. (12:11).
2. Лаевский Ю.М., Бабкин В.С. Распространение тепловых волн в гетерогенных средах / Под ред. Ю. Матроса. Новосибирск. – 1988. – С. 108-145.
3. Доброго К.В., Жданок С.А. Инженерный расчет характеристик волны фильтрационного горения на основе двухтемпературной одномерной модели // ИФЖ. – 1998. – Т. 71, № 3. – С. 424-431.
4. Fut'ko S.I., Dobrego K.V., Shmelev E.S., Suvorov A.V., Zhdanok S.A. Filtration combustion in hydrocarbon desorption from a porous medium // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. – 2003. – № 6, Vol. 76. – P. 1300-1309.

Научное издание

СБОРНИК ТРУДОВ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ
НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК БЕЛАРУСИ

Том 4

Подписано в печать 08.11.2004. Формат 60х84/16.

Бумага офсетная, печать офсетная, гарнитура Times.

Усл.-печ. л. 18,13. Уч.-изд. л. 18,87. Тираж 300 экз. Заказ № 609.

Издатель ИП Логвинов И.П.

220050, г. Минск, пр-т Скорины, 19-5

Лицензия ЛВ № 02330/0133075 от 30.04.2004 г.

Типография ОДО “НоваПринт”,

220047, г. Минск, ул. Купревича, 2. Тел. +375 29 6777949.

Лицензия ЛП № 02330/0056647 от 27.03.2004 г.,

выдана Министерством информации Республики Беларусь

ISBN 985-6701-55-4



9 789856 701552