



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

**АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДА  
ФИЛЬТРАЦИОННОГО ГОРЕНИЯ С РЕКУПЕРАЦИЕЙ ДЛЯ  
УТИЛИЗАЦИИ ЭМУЛЬСИЙ ТИПА ВОДА-УГЛЕВОДОРОДЫ**

**Е.С. Шмелев**

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

*Application of Filtration Combustion (FC) technique for oil-in-water emulsions utilization 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.*

Серьезной проблемой является утилизация эмульсий типа вода-углеводороды, образующихся в результате аварийных ситуаций, связанных с выбросом нефтепродуктов в водоемы; а также эмульсий, образующихся в различных технологических процессах и при переработке отходов.

Разработка технологии утилизации эмульсий в основном связана с проблемами очистки сточных вод и утилизации отработанных смазочно охлаждающих жидкостей (СОЖ).

Отработанные СОЖ являются [1] источником загрязнения окружающей среды. В связи с увеличением объема потребления СОЖ увеличивается и количество жидкостей, подлежащих обезвреживанию и утилизации. Применяемые в стране и за рубежом способы обезвреживания отработанных эмульсионных СОЖ предусматривают их разделение на водную и органическую фазы с последующим сбросом продуктов разложения (без повторного использования почти во всех случаях (исключение [1,2])). Технологические эмульсионные СОЖ являются кинетически и агрегативно-устойчивыми эмульсиями [3], полидисперсными, ультрамикро ( $10^{-3}$ .. $10^{-1}$  мкм) и микрогетерогенными (0,1...10 мкм). Отработанные эмульсии в своем составе содержат как исходные компоненты (масла, эмульгаторы, спирты, кислоты, ПАВ), так и продукты термokatалитической деструкции. Кроме того, происходит биологическое загнивание СОЖ, что является основной причиной их замены на свежеприготовленные [2]. Комплекс таких органических веществ в щелочной среде образует агрегативно-устойчивую систему, затрудняющую обезвреживание отработанных эмульсий.

Существуют методы очистки сточных вод с использованием флокулянта катионного типа, коагулянтов на основе оксихлоридов и окисульфатов алюминия, полиалкиленгуанидинов, а также методы электрокоагуляции и электрофлотации [4]. Существующие методы разрушения эмульсий: термический, биологический, электрический и физико-химический – связаны с большим расходом электроэнергии, потребностью в значительных площадях или необходимостью использования [2] высокотоксичных химических веществ. Кроме того, большинство технологий по утилизации вод, содержащих органические загрязнители, являются комбинациями вышеперечисленных методов, что существенно увеличивает как стоимость процесса, так и технологическую сложность и громоздкость оборудования для его протекания.

В частности, в работе [4] описывается электрохимический способ разложения СОЖ. В ней показано, что в предлагаемом ими способе электрохимическому разделению промстоков предшествует предварительная очистка на механических фильтрах, затем осуществляется электрокоагуляция отработанных СОЖ на безнапорном пластинчатом горизонтальном электрокоагуляторе с ламинарным режимом движения растворов относительно поверхности электродов. Аноды и катоды выполнены в виде пакета пластин из углеродистой стали или алюминия. После электрокоагуляции происходит отделение дисперсной фазы от перерабатываемой среды посредством тарельчатого сепаратора, работающего в режиме сверхцентрифуги, кроме того, разделение интенсифицируется путем введения синергетических агентов типа минеральных и высокомолекулярных органических флокулянтов.

Причем, применение совокупности целого ряда методов является не исключением, а правилом в технологиях утилизации промышленных сточных вод.

Отдельной важной проблемой является устранение последствий аварий, связанных с выбросом нефтепродуктов в водоемы. В связи с этим представляют интерес технологии очистки природных вод. Рассмотрим в качестве примера одну из новых установок очистки – “Установку для очистки и обеззараживания сточных и природных вод “Универсал” [5]. Данная установка предназначена для очистки и обеззараживания нефтезагрязненных, ливневых, промышленных, хозяйственно-бытовых стоков и загрязненных природных вод. Установка состоит из следующих блоков: электрообработки, разделения, электрообеспечения и контроля, доочистки, а также насосно-подающего блока.

Блок электрообработки состоит из электрокоагулятора и (или) электрофлотатора, бака расширения, комплекта запорной арматуры. Электрокоагулятор предназначен для введения коагулянта путем растворения анода при прохождении постоянного тока. Электрофлотатор предназначен для насыщения воды пузырьками газа, получаемого при гидролизе воды, с целью последующего выведения загрязнений совместно со всплывающими пузырьками, при изменении скорости потока воды (эффект флотации). Гидролиз воды в электрофлотаторе осуществляется при прохождении постоянного тока через поверхность пластин, при этом материал анода не должен растворяться в воде. Бак расширения предназначен для дегазации воды путем откачки, образования хлопьев и выделения флотопены.

Блок разделения представляет собой емкостное оборудование для отстаивания обработанной воды.

Блок электрообеспечения и контроля состоит из блока питания, пульта управления, силового блока, блока индикации, пульта насосов.

В состав блока доочистки входят: фильтр с засыпной загрузкой (кварц), фильтр с засыпной загрузкой (сорбент), устройство консервации воды (ГПХН, серебро и т.д.), комплект запорной арматуры.

Насосно-подающий блок состоит из вакуумного водокольцевого насоса с баком охлаждения и баком-ресивером, центробежного водяного насоса, комплекта запорной арматуры.

При очистке воды на установке последовательно применяются следующие методы: предварительное хлорирование, электро-коагулирование, электрофлотация,

дегазация воды при пониженном парциальном давлении и хлопьеобразование, отстаивание (разделение) обработанной воды, контактное осветление (фильтрация через засыпную загрузку), сорбция (фильтрация через загрузку из активированного угля), обеззараживание УФ-облучением.

Как видно из приведенного описания стандартной установки очистки, необходимо использовать совокупность существующих методов очистки, так как ни один из них не в состоянии обеспечить требуемую степень очистки. Поэтому особый интерес представляет предложение использования метода фильтрационного горения (ФГ) для очистки органозагрязненной воды, который потенциально может заменить собой почти все вышеперечисленные методы очистки. Метод ФГ успешно применяется для очистки воздушных потоков [6] и изучается возможность его применения для очистки твердых дисперсных материалов от примесей органических веществ [7].

После окисления органических компонентов эмульсий получается дистиллированная вода и  $\text{CO}_2$ . Особенно важным с экономической стороны для данного процесса представляется то, что сами органические загрязнители, при условии рекуперации тепла в область установки, предшествующую зоне горения (что наиболее эффективно осуществляется именно в условия фильтрационного горения), являются дополнительным топливом, что существенно удешевляет процесс. Необходимо отметить, что использование горения для очистки воды является достаточно энергоемким и трудноосуществимым процессом в случае факельного горения, поскольку вода будет гасить факел, сбивая его.

Исключительно применение ФГ в инертном пористом каркасе обеспечивает устойчивость процесса. Кроме того, в инертном каркасе процесс горения может осуществляться в сверхадиабатическом режиме за счет рекуперации тепла к зоне, предшествующей зоне горения, что дает возможность снизить затраты энергии на осуществление процесса и расширить пределы применимости на более низкие концентрации углеводород в воде.

Был проведен анализ энергозатрат на осуществление предлагаемого метода. Расчет энергозатрат в случае эмульсии вода – масло показал, что при некоторых значениях параметров процесса возможен самоподдерживающийся процесс ФГ, протекающий исключительно за счет сгорания масла. Была сделана оценка содержания масла для адиабатического реактора. Предполагалось, что реактор изначально прогрет до требуемых температур нагревателями предварительного нагрева, что происходит полное сгорание масла, а также, что нет потерь тепла через стенки реактора в окружающую среду.

В брутто-энергетическую оценку входили:

затраченная теплота на:

- нагревание эмульсии,
- нагревание водяного пара,
- нагревание воздуха, требуемого для сжигания содержащейся органики (масса воздуха рассчитывалась в соответствии со стехиометрическими коэффициентами),
- испарение воды и масла;
- отданная теплота от сгорания масла.

## ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Физико-химические характеристики, использованные для расчетов, приводятся в таблице 1.

Таблица 1. Физико-химические характеристики исходных компонент

Удельная теплоемкость эмульсии	Удельная теплоемкость водяного пара	Удельная теплоемкость воздуха	Удельная теплота парообразования воды	Удельная теплота сгорания масла
4186 Дж/кг*С	2510 Дж/кг*С	1047 Дж/кг*С	$2.5 \cdot 10^6$ Дж/кг	$5,1 \cdot 10^7$ Дж/кг

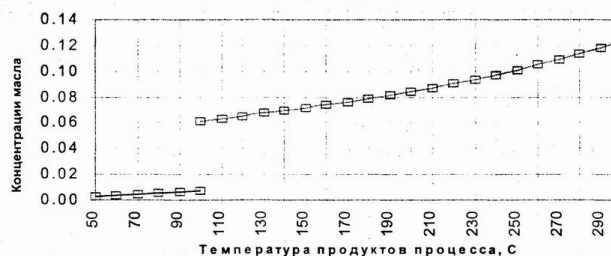


Рис. 1. Зависимость концентрации масла, необходимой для поддержания самоподдерживающегося процесса от температуры продуктов процесса

На рисунке 1. даны некоторые возможные сочетания параметров самоподдерживающегося процесса.

Факт возможности существования самоподдерживающегося процесса, так и его экологическая чистота, доказывают уникальность данного метода. Необходимо, однако, отметить, что действительность осуществления данного метода требует кроме брутто-энергетической оценки, также оценки реальной кинетики процесса и реального теплообмена в реакторе рекуперативного типа.

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

### Литература

1. Литвинова Ю.Г., Тарасова А.И. Бессбросовая технология разложения отработанных эмульсий // Техника машиностроения. – 1996. – № 1, Т. 7. – С. 73
2. Данилина Н.И., Кузнецов О.Ю. Метод утилизации СОЖ на основе бактерицидного полиэлектролита // Техника машиностроения. – 1996. – № 1, Т. 7. – С. 71
3. Смирнов Г.Г., Копылов Ю.С., Соболев В.И., Щеголев В.В. Выбор рациональной технологии разрушения отработанных эмульсионных СОЖ // Техника машиностроения. – 1996. – № 1, Т. 7. – С. 72
4. Дмитриев А.В., Никитин А.Н. Электрохимический способ разложения отработанных водосмешиваемых СОЖ // Техника машиностроения. – 1996. – № 1, Т. 7. – С. 74

5. <http://ntpo.com/techno/techno4/3.shtml> – 10.09.2004 (17-40)
6. Патент США № 5320518 14-06-1994
7. 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