

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК БЕЛАРУСИ
Совет молодых ученых НАН Беларуси

МОЛОДЕЖЬ В НАУКЕ — **2007**

Приложение к журналу
«Весці Нацыянальнай акадэміі
навук Беларусі»

В четырех частях

Часть 3

Серия физико-математических наук

Серия физико-технических наук

Серия химических наук



Минск

«Белорусская наука»

2008

УДК 082
ББК 94
М 75

Редакционная коллегия
серии физико-математических наук:

С. В. Абламейко (главный редактор), Н. М. Олехнович (зам. главного редактора),
В. М. Анищук, А. И. Белоус, А. А. Богуш, С. В. Гапоненко, А. М. Гончаренко, А. П. Достанко,
Н. А. Изобов, Н. С. Казак, В. И. Корзюк, Ф. П. Коршунов, В. А. Писарев, Л. М. Томильчик,
А. В. Тузиков, А. Ф. Чернявский, Л. А. Шеметков, Л. А. Янович

Редакционная коллегия
серии физико-технических наук:

С. А. Астапчик (зам. главного редактора), В. Л. Драгун (зам. главного редактора),
П. А. Витязь, М. С. Высоцкий, А. И. Гордиенко, В. А. Емельянов, С. А. Жданок, В. В. Клубович,
Л. Г. Красневский, В. И. Кувшинов, С. П. Кундас, М. М. Маханек, Н. П. Мигун, А. А. Михалевич,
Ю. М. Плескаческий, П. П. Прохоренко, О. П. Реут, В. В. Тур, Б. М. Хрусталев, В. К. Шелег,

Редакционная коллегия
серии химических наук:

Н. П. Крутко (главный редактор), Ф. А. Лахвич (зам. главного редактора),
В. Е. Агабеков, А. В. Бильдюкович, А. А. Гилеп, Ю. Г. Егиазаров, О. А. Ившкевич, В. С. Комаров,
Ф. Н. Капулский, А. В. Кудельский, М. И. Кузьменков, А. И. Кулак, И. А. Левицкий,
А. И. Лесникович, И. И. Лиштван, С. К. Рахманов, А. И. Ратько, В. С. Солдатов, В. А. Хрипач

Молодежь в науке – 2007: прил. к журн. «Весці Нацыянальнай акаадэміі навук Беларусі». В 4 ч.
M75 Ч. 3. Серия физико-математических наук; серия физико-технических наук; серия химических наук /
редкол. серии физ.- мат. наук: С. В. Абламейко (гл. ред.), Н. М. Олехнович [и др.]; редкол. серии физ.-
техн. наук: С. А. Астапчик (зам. гл. ред.), В. Л. Драгун [и др.]; редкол. серии хим. наук: Н. П. Крутко
(гл. ред.), Ф. А. Лахвич [и др.]. – Минск: Белорус. наука, 2008. – с.

ISBN 978-985-08-0963-6.

В данное издание вошли работы молодых ученых по физико-математическим, физико-техническим и хими-
ческим наукам, представленные на Международной научной конференции молодых ученых «Молодежь в науке –
2007», проходившей в Минске 23 – 26 октября 2007 г.

УДК 082
ББК 94

ISBN 978-985-08-0963-6 (Ч. 3)
ISBN 978-985-08-0951-3

© Оформление. РУП «Издательский
дом «Белорусская наука», 2008

FATIGUE DURABILITY CALCULATION AND ITS AUTOMATION AT DIFFERENT
DEVELOPMENT STAGES OF MOBILE MACHINES BEARING STRUCTURES

Summary

Questions of methodology selection for high-cycle fatigue durability estimation of mobile machines carrying structures, subjected to the random loading, and calculation automation for different development cycles are under consideration in this article.

On the basis of the formulated requirements and the literary analysis following methods have been proposed:
cycle-counting: rainflow, range pairs and half-cycles with the envelope;
reduction of asymmetric stress cycles to the damage-equivalent fully reversed on the basis of mean stress correction diagrams: Kinasoshvili-Serensen, Goodman and Gerber;
damage accumulation: Palmgren-Miner linear hypothesis, Kogaev linear corrected hypothesis and Pochteny kinetic damage summation method.

The hardware-software means are developed with use of the specified methods. They allow to automat durability calculations on a design stage - by results of a carrying structure load cases modeling in software MSC. ADAMS and at a stage of operational development - by results of load registration in a set of operation conditions.

УДК 536.46

E. C. ШМЕЛЕВ

ОЧИСТКА ВОДЫ ОТ ОРГАНИЧЕСКИХ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ
МЕТОДОМ ПЕРЕГОНКИ И ФИЛЬТРАЦИОННОГО ГОРЕНИЯ ГАЗОВ.
ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРОТОТИП АППАРАТА ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОДЫ
ОТ ОРГАНИЧЕСКИХ КОМПОНЕНТОВ

Институт тепло- и массообмена им. А. В. Лыкова НАН Беларусь, Минск.

В настоящее время актуальной остается проблема защиты окружающей среды жидких органосодержащих веществ, в частности, утилизации эмульсий типа вода-углеводороды, образующихся в результате аварийных выбросов нефтепродуктов в водоемы; а также эмульсий, образующихся в различных технологических процессах и при переработке отходов.

На сегодняшний день существуют разнообразные методы очистки вод с использованием флокулянта катионного типа, коагулянтов на основе оксихлоридов и окисульфатов алюминия, поликарбонатов, а также методы электроагрегации и электрофлотации [1]. Разработанные 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. Большинство технологий по утилизации вод, содержащих органические загрязнители, являются комбинациями вышеназванных методов, что увеличивает как стоимость процесса, так и технологическую сложность и громоздкость оборудования для его протекания. Кроме того, поскольку сущность большинства методов заключается в разделении загрязненной воды на водную и органическую части, то в результате их проведения появляются отходы, которые также нуждаются в утилизации. Такие отходы часто включают в себя также новые химические вещества, попавшие в них в ходе первичной переработки.

Ранее сообщалось [3, 4] о возможности и преимуществах использования процесса фильтрационного горения газов (ФГГ) для очистки инертных жидкостей от органических загрязнителей. Следует отметить, что метод ФГГ уже успешно применяется для очистки воздушных потоков [5] и изучается возможность его использования для очистки твердых дисперсных материалов от примесей органических веществ [6]. Рассматриваемый метод привлекает тем, что обеспечивает высокую степень очистки и позволяет использовать выделяющееся при сжигании органических загрязнителей тепло для проведения процесса. При этом чем выше концентрация загрязняющих органических веществ, тем ниже энергетическая стоимость процесса. Кроме того, при высоких концентрациях загрязнителя возможно получение тепловой энергии вследствие превышения тепловыделения над теплопотерями в процессе очистки с использованием метода фильтрационного горения.

Цель данной работы – экспериментальный анализ возможности, применения и эффективности очистки воды, загрязненной органическими веществами, с использованием метода ФГГ.

Исследования проводились на лабораторном прототипе ранее запатентованного аппарата [3] для очистки воды от органических компонентов (далее экспериментальной установки). В качестве обрабатываемых веществ использовались смеси воды с ацетоном при различных концентрациях последнего.

Для анализа энергетической эффективности необходимо было определить теоретически и экспериментально теплозатраты процесса очистки воды от органических загрязнителей с использованием фильтрацион-

ного горения, провести сравнение экспериментальных данных с теоретически рассчитанными при условии нулевых теплопотерь и с учетом теплопотерь экспериментальной установки. Для анализа энергетической эффективности требовалось определить теоретически и экспериментально теплозатраты процесса очистки вод от органических загрязнителей с использованием фильтрационного горения на единицы массы обрабатываемой воды, сравнить данные, полученные на экспериментальной установке с теоретически рассчитанными при условии нулевых теплопотерь.

Описание экспериментальной установки. В настоящей работе экспериментальные исследования процесса очистки воды от органических загрязнителей проходили на экспериментальной установке для очистки воды от органических компонентов (рис. 1). Аппарат для очистки воды от органических компонентов работает следующим образом. Загрязненная вода заливается в резервуар 2. Слои инертного термостойкого дисперсного материала 4, 5 разогреваются электрическими нагревателями 8. Подача воздуха осуществляется за счет пониженного давления, создаваемого дымососом 14. В режиме предварительного разогрева аппарата воздух поступает с входных торцов питающих труб 3 и последовательно проходит через дисперсный материал 5 в питающей трубе 3, газопроницаемый участок 6, слой дисперсного термостойкого материала 4 к выходу из камеры 1. Вблизи электронагревателей 8 воздух получает тепло и, двигаясь через слой инертного термостойкого дисперсного материала 4, отдает тепло более холодным областям и стенкам трубы 3, расширяя границы разогретой области. Когда температура инертного термостойкого дисперсного материала вблизи нагревателей 8, контролируемая термопарами Т, станет достаточной для самовоспламенения летучих органических компонентов, открывается дозатор 7 и загрязненная вода начинает поступать из резервуара 2 в питающие трубы 3. Скорость подачи загрязненной воды регулируется дозатором 7. При движении по питающей трубе 3 загрязненная вода нагревается и испаряется вместе с содержащимися в ней органическими компонентами за счет передачи тепла от горячих продуктов окисления. Выходные торцы питающих труб 3 закрыты заслонкой 9, которую можно открыть в случае засорения питающих труб 3 твердыми неорганическими фракциями, которые могут содержаться в загрязненной воде. Пары воды и органики вместе с потоком воздуха поступают через газопроницаемый участок 6 в разогретую до температуры самовоспламенения образующейся газовой смеси область инертного термостойкого дисперсного материала 4, где образуется зона горения. Продукты сгорания двигаются через слой инертного термостойкого дисперсного материала 4 вдоль наружной поверхности питающей трубы 3 к выходу из камеры 1. Тепло горячих продуктов сгорания эффективно поглощается развитой поверхностью слоя инертного термостойкого дисперсного материала 4 и передается от него преимущественно излучением питающей трубы 3 и далее дисперсному материалу 5 и загрязненной воде внутри нее. С образованием зоны горения мощность на электрических нагревателях 8 пультом управления 16 понижается до уровня, пока температура в зоне горения остается в пределах самовоспламенения образующейся в процессе газовой смеси. Избыточный воздух, пары воды и углекислый газ, оставшиеся после сгорания органических компонентов, попадают в конденсатоотводчик 10 и холодильник 11, где происходит конденсация и отбор воды. Избыточный воздух и углекислый газ удаляются дымососом 14.

Экспериментальные исследования реализовывались с использованием физических прин-

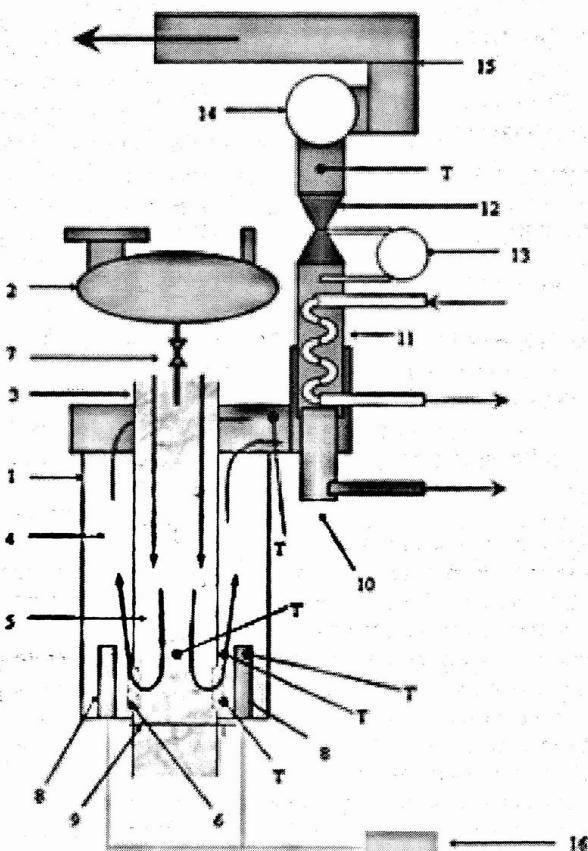


Рис. 1. Экспериментальная установка: 1 – камера, 2 – резервуар, 3 – питающая труба, 4 – инертная пористая дисперсная засыпка в камере, 5 – инертная пористая дисперсная засыпка в питающей трубе, 6 – участок с газопроницаемыми стенками, 7 – дозатор, 8 – электронагреватели предварительного нагрева, 9 – заслонка, 10 – конденсатоотводчик, 11 – холодильник, 12 – расходомерная труба, 13 – микроманометр, 14 – дымосос, 15 – магистраль вытяжки, 16 – Пульт управления нагревателями, Т – термопары

ципов рециркуляции, фильтрационного горения, рекуперации, автоматического управления режима за счет нагрева, подачи воздуха и воды в систему.

В ходе экспериментов были получены данные о конструктивных теплопотерях экспериментальной установки (под которыми подразумеваются интегральные теплопотери реальной установки очистки воды от органических загрязнителей, зависящие от ее конструктивных особенностей и температуры горячей зоны реактора), динамике ее температурных полей при разных концентрациях органики в воде и различных мощностей, подаваемых на нагреватели дополнительного нагрева. На установке были проведены эксперименты двух видов: 1) без рабочей смеси, 2) с использованием в качестве рабочей смеси раствора ацетона в воде.

1) Эксперименты без рабочей смеси. Учитывая, что условие стационара температурных полей аппарата заключается в установлении баланса между тепловой мощностью нагревателей и мощностью теплопотерь, предполагалось решить задачу получения зависимости теплопотерь установки от температуры рабочей зоны реактора.

Цель проведения – получение данных о конструктивных теплопотерях установки при различных температурах рабочей зоны реактора и расходах воздуха, которые определялись при выходе на квазистационарный режим с температурой в рабочей области реактора 800–900 °C мощностью нагрева в отсутствии рабочей смеси.

Условия проведения: а) постоянные – рабочая смесь отсутствует, поток воздуха через установку 1,3 м³/ч; б – переменные: варьированные мощности нагревателей дополнительного нагрева.

Порядок проведения эксперимента: разогрев установки до стационара при мощностях нагревателей, различных для разных опытов, но постоянных на протяжении одного опыта.

Таким образом, учитывая, что условие стационара температурных полей установки заключается в установлении баланса между тепловой мощностью нагревателей и мощностью теплопотерь, предполагалось решить задачу получения зависимости теплопотерь установки от температуры рабочей зоны реактора.

Результаты экспериментов без рабочей смеси. Пример динамики температурных полей установки от комнатной температуры до стационара представлен на рис. 2. Расположение термопар в реакторе дано в табл. 1. Как хорошо видно на графике, рабочая зона за счет потока воздуха внутри реактора смешалась из внутренней трубы в межтрубное пространство. Результаты проведения экспериментов данного типа даны в табл. 2.

Таблица 1. Расположение термопар

T1	T2	T3	T4	T5	T6
Входящие газы	Рабочая зона (область электрических нагревателей), межтрубное пространство	Вход в зазор у сетки	Уровень нагревателей, внутренняя труба	Уровень нагревателей, межтрубное пространство	Отходящие газы

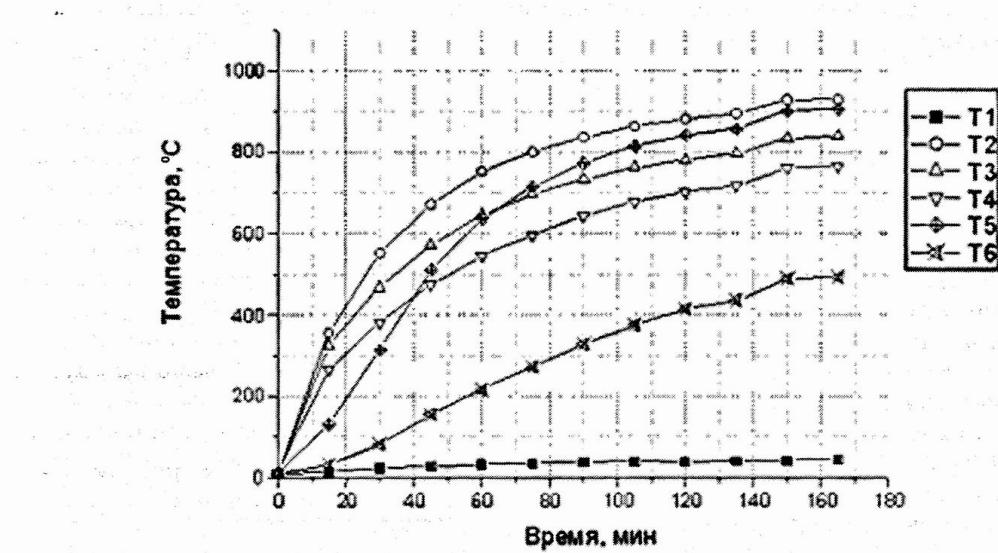


Рис. 2. Динамика температурных полей установки при мощности нагревателей 400 Вт

Таблица 2. Зависимость конструктивных теплопотерь установки $P_{\text{кп}}$ от температуры рабочей зоны реактора с постоянным потоком воздуха в реакторе

Температура, °С	700	930	950	980
Потери, Вт	240	400	500	600

2) Эксперименты с использованием в качестве рабочей смеси раствора ацетона в воде. Цель проведения – осуществление выхода на квазистационарный режим с температурой в рабочей области реактора 800–900 С с заданными мощностями нагрева и расхода воздуха в отсутствии рабочей смеси, после выхода на режим без рабочей смеси создать квазистационарный режим с рабочей смесью, экспериментально определить теплозатраты на единицу массы обрабатываемой органозагрязненной воды.

Условия проведения: а – постоянные: рабочая смесь – вода с ацетоном, общий расход воздуха, продуктов процесса 1,3 м³/ч; б – переменные: мощность нагревателей дополнительного нагрева, концентрация ацетона в растворе.

Порядок проведения эксперимента: разогрев установки до температур 800–900 С в рабочей зоне реактора, затем подача в реактор рабочей смеси с уменьшением мощности нагревателей дополнительного нагрева до достижения стационарной температуры рабочей зоны реактора в области 900–1000 °С.

Результаты экспериментов типа с использованием в качестве рабочей смеси раствора ацетона в воде. В ходе экспериментов было обнаружено следующие проблемы.

1) При температуре в рабочей зоне реактора менее 900 °С при подаче смеси не происходил поджиг органической составляющей смеси. При этом подаваемая смесь резко охлаждала рабочую зону реактора. При увеличении мощности, подаваемой на нагреватели, чтобы вернуть температуру в зоне реактора на уровень 900 °С и выше, после набора 920 °С происходило резкое возгорание паров ацетона с высвобождением значительного для данной экспериментальной установки количества тепловой энергии. Что в свою очередь приводило к резкому скачку температуры до 1100–1200 °С и более. Поскольку термопары, расположенные в реакторе, были рассчитаны на работу до 1100–1200 °С, а рабочая температура никрома, из которого были изготовлены нагреватели, также ограничена 1100–1200 °С, требовалось резко снизить мощность нагревателей и либо прекратить, либо уменьшить подачу смеси в реактор. Несколько минут после отключения нагревателей температура продолжала незначительно расти, а затем резко падала до 800–900 °С, т. е., ниже температуры, требуемой для горения органической составляющей смеси в данной экспериментальной установке при непрерывной подаче новых порций смеси в реактор.

Кроме того, было отмечено, что даже при правильном подборе мощности, подаваемой на нагреватели, и расхода рабочей смеси, подаваемой в реактор, когда после возгорания паров ацетона не происходит выход температуры за пределы 1100 С, и, следовательно, не требовалось уменьшать подаваемую мощность на нагреватели и расход смеси, температура снижалась на 50 °С после набора максимума в 1000–1100 °С. Это можно объяснить медленным поджигом паров органики, приводящим к накоплению в рабочей зоне реактора, а затем выгоранию большего количества паров ацетона в единицу времени в начале подачи смеси, после которого устанавливалась постоянная скорость сгорания паров ацетона, зависящая в дальнейшем только от скорости подачи смеси в реактор и работы вытяжной вентиляции, при условии, что температура в рабочей зоне реактора выше 900 °С.

2) В результате подачи рабочей смеси в реактор при постоянной работе вытяжной вентиляции, обеспечивающей проход газов через реактор, за счет испарения рабочей смеси с увеличением ее объема резко снижалась подача воздуха в реактор, что также в ряде случаев приводило к затуханию горения в реакторе.

Теоретический анализ эффективности. Брутто-энергетическая модель. Целью теоретического анализа было определение теплозатрат на процесс очистки обрабатываемой воды от органических загрязнителей. Задачи, которые необходимо было решить для достижения поставленной цели: создание брутто-энергетической модели процесса, получение зависимости тепловой мощности, выделяемой от сгорания ацетона, содержащегося в смеси от ее расхода, зависимости мощности теплопотерь от расхода смеси.

В брутто-энергетическую модель входили:

Мощность тепловыделения $P_{\text{тв}}$, состоящая из мощности нагревателей дополнительного нагрева $P_{\text{д.н.}}$ тепловой мощности, выделяемой при сгорании ацетона $P_{\text{ац}}$.

Мощность теплопотерь $P_{\text{тр}}$ состоящая из: мощности аддитивных потерь установки при температуре рабочей зоны 900–1000 °С $P_{\text{а950}}$, мощности теплозатрат на нагрев воды $P_{\text{н.в}}$, испарение воды $P_{\text{и.в}}$, нагрев пара $P_{\text{н.п}}$, нагрев воздуха $P_{\text{н.вз}}$.

Расчетные формулы:

$$P_{\text{ац}} = q_{\text{ац}}(r/H)k,$$

$$P_{\text{н.в}} = c_{\text{в}}(r/H)(1-k)\Delta T_1,$$

$$P_{\text{н.в}} = L_{\text{в}}(r/H)(1-k),$$

$$P_{\text{н.п}} = c_{\text{п}}(r/H)(1-k)\Delta T_2,$$

$$P_{\text{н.вз}} = c_{\text{вз}}(r/H)kn\Delta T_3,$$

где: $q_{\text{ац}}$ – удельная теплота сгорания ацетона, r – расход рабочей смеси, взятый для удобства в кг/ч, H – поправочный коэффициент к последнему, переводящий его в кг/с, равный 3600 с/ч, k – доля содержания ацетона в растворе, $c_{\text{в}}$, $c_{\text{п}}$, $c_{\text{вз}}$ – удельная теплоемкость воды, пара и воздуха соответственно, ΔT_1 , ΔT_2 , ΔT_3 – разность начальной и конечной температур воды, пара и воздуха соответственно, $L_{\text{в}}$ – удельная теплота испарения воды.

Характеристики рабочих веществ, потребовавшиеся в ходе расчетов, представлены в табл. 3.

Таблица 3. Термофизические характеристики рабочих веществ.

Теплоемкость воды, Дж/(кг·°С)	Теплота испарения воды, Дж/кг	Теплоемкость воздуха, Дж/(кг·°С)	Удельная теплота сгорания ацетона, Дж/кг	Теплоемкость пара, Дж/(кг·°С)
4200	2500000	1050	30780000	2100

Результаты расчетов. Расчет теплопотерь проводился а) в упрощенном виде, б) в более сложном, в) в нулевом:

$$\text{а)} P_{\text{пп}} = P_{\text{кп}950} + P_{\text{ив}} + P_{\text{нв}} \text{ (П. В. А.)}$$

$$\text{б)} P_{\text{пп}} = P_{\text{а}950} + P_{\text{ив}} + P_{\text{нв}} + P_{\text{нп}} + P_{\text{нвз}} \text{ (П. В. Б.)}$$

$$\text{в)} P_{\text{пп}} = P_{\text{ив}} + P_{\text{нв}} + P_{\text{нп}} + P_{\text{нвз}} \text{ (П. В. В.)}$$

На рис. 3, 4 представлены зависимости мощностей тепловыделения от сгорания ацетона и теплопотерь от расхода рабочей смеси.

Было отмечено, что расчет теплозатрат методом П.В.Б. наиболее точно соответствует данным, полученным экспериментально.

Для решения проблем с резким ростом температуры, а также с последующим затуханием могут быть рекомендованы следующие меры.

- 1) Подача смеси в реактор только после достижения в рабочей зоне реактора температуры 920 °С.
- 2) Подачу смеси в реактор начинать с малых расходов, скорость подачи увеличивать постепенно до требуемой.

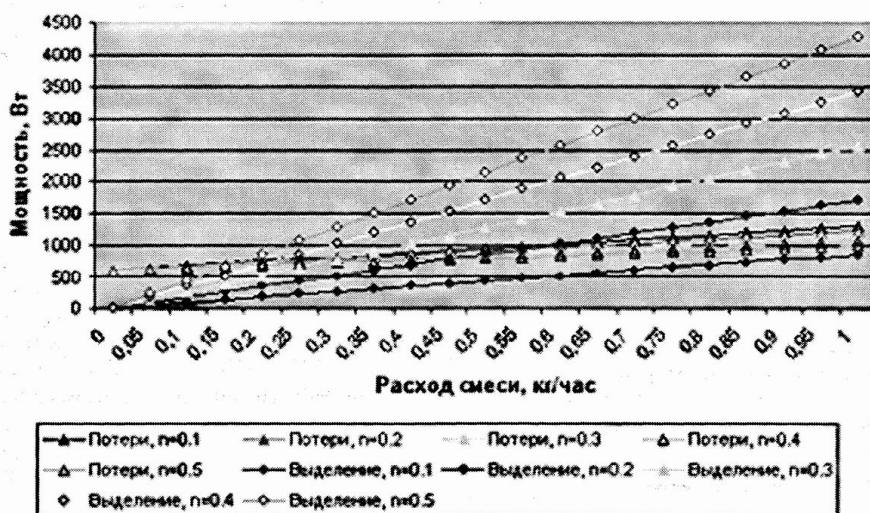


Рис. 3. Зависимости мощностей тепловыделения и теплопотерь, рассчитанных способом П. В. А., от расхода рабочей смеси при концентрации ацетона в смеси $n = 0,1, 0,2, 0,3, 0,4, 0,5$

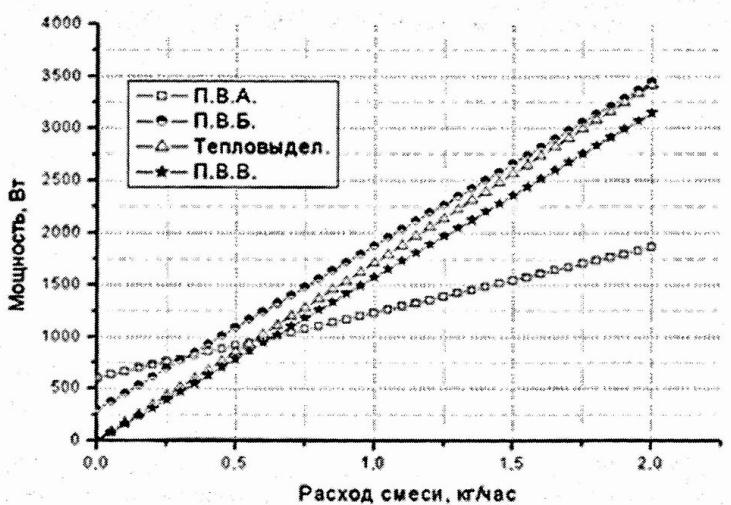


Рис. 4. График зависимости мощностей теплопотерь и тепловыделения для концентрации ацетона в смеси $n = 0.2$

3) С подачей смеси в реактор обеспечивать прежний заданный расход воздуха через реактор увеличением мощности вытяжной вентиляции либо иным путем.

Данные меры были опробованы экспериментально, установлена их эффективность для решения вышеуказанных проблем.

Заключение. Проведен экспериментальный анализ эффективности и применимости метода ФГТ для очистки загрязненной органикой воды с использованием в качестве модельной смеси смесь ацетона и воды. Обнаружены проблемы реализации данного метода. предложены и успешно опробованы способы их решения. Проведен анализ необходимых теплотрат как функция расхода смеси и концентраций примеси. Процесс реализован на лабораторном прототипе реактора. В воде, сконденсированной на выходе из реактора, ацетона не обнаружено.

Литература

1. Дмитриев А. В., Никитин А. Н. // Техника машиностроения. 1996. № 1. Т. 7. С. 74.
2. Данилина Н. И., Кузнецов О. Ю. // Техника машиностроения. 1996. № 1, Т. 7. С. 71.
3. Жданок С. А., Суворов А. В., Доброго К. В. и др. Аппарат для очистки воды от органических компонентов: Патент РБ 2058. 2005.04.01.
4. Суворов А. В., Доброго К. В., Шмелев Е. С. // Новые технологии рециклинга отходов производства и потребления: Материалы Междунар. науч.-техн. конф. 24–26 ноября 2004 г. Мин., 2004. С. 148–150.
5. Apparatus for removing impurities from effluent waste gas streams. United States Patent № 6471919 October 29, 2002.
6. Fut'ko S.I., Dobrego K.V., Shmelev E.S., Suvorov A.V., Zhdanok S.A. // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. 2003. Vol. 76, N 6. P. 1300–1309.

E. S. SHMELEV

WATER TREATING FROM ORGANIC POLLUTIONS BY A METHOD OF DISTILLATION AND FILTRATION BURNING OF GASES. THE LABORATORY PROTOTYPE OF THE DEVICE FOR WATER TREATING FROM ORGANIC COMPONENTS

Summary

Now remains actual a problem of protection of an environment, in particular, to recycling emulsions type the waters – hydrocarbons, formed as a result of emergency emissions of mineral oil in reservoirs; and also emulsions, formed in various technological processes and at processing waste products.

In the given work the experimental analysis of an opportunity, applicability and efficiency of the water treating polluted with organic substances, with use of a method of Filtration burning gases has been carried out. Problems of realization of the given method are discovered; ways of their decision are offered and successfully tested. Process of clearing is successfully realized on the laboratory prototype patented before the device for water treating from organic components.

Научное издание

МОЛОДЕЖЬ В НАУКЕ – 2007

*Приложение к журналу
«Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі»*

**В четырех частях
Часть 3**

**Серия физико-математических наук
Серия физико-технических наук
Серия химических наук**

Редакторы *И. С. Александрович, Н. А. Алексеева, Я. В. Роцина*

Художественный редактор *В. А. Жаховец*

Технический редактор *Т. В. Летьен*

Компьютерная верстка *Л. И. Кудерко, О. Л. Смольская*

Подписано в печать 30.07.2008 г. Формат 60×84¹/₈. Бум. офсетная. Гарнитура Times New Roman. Усл. печ. л. 53,94.
Усл. кр.-отт. 54,84. Уч.-изд. л. 52,3. Тираж 116 экз. Заказ 306.

Республиканское унитарное предприятие «Издательский дом «Белорусская наука». ЛИ № 02330/0131569 от 11.05.2005 г.
220141, Минск, ул. Ф. Скорины, 40.

Отпечатано в РУП «Издательский дом «Белорусская наука».