

На правах рукописи



ПАВЛОВ СЕРГЕЙ СЕРГЕЕВИЧ

ПОЛУЧЕНИЕ БИОДОБАВОК ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ
ПОТРЕБИТЕЛЬСКИХ СВОЙСТВ ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА

Специальность 05.20.03

Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве

Автореферат диссертации
на соискание ученой степени кандидата технических наук

Мичуринск-наукоград 2013

Работа выполнена в государственном научном учреждении Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов Российской академии сельскохозяйственных наук (ГНУ ВНИИТиН Россельхозакадемии).

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Нагорнов Станислав Александрович

Официальные оппоненты: **Манаенков Константин Алексеевич**,
доктор технических наук, профессор,
ФГБОУ ВПО «Мичуринский государственный
аграрный университет», заведующий
кафедрой «Машиностроение и технический
сервис»

Улюкина Елена Анатольевна,
доктор технических наук, доцент,
«Московский государственный агроинже-
нерный университет им. В.П. Горячкина»,
заведующая кафедрой «Химия»

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное
научное учреждение «Российский научно-
исследовательский институт информации и
технико-экономических исследований по
инженерно-техническому обеспечению агро-
промышленного комплекса» (ФГБНУ
«Росинформагротех»)

Защита диссертации состоится 22 ноября 2013 г. в 14 часов на засе-
дании диссертационного совета ДМ 220.041.03 при ФГБОУ ВПО «Мичу-
ринский государственный аграрный университет» по адресу: 393760, Там-
бовская область, г. Мичуринск, ул. Интернациональная, д. 101, корпус 1,
зал заседаний диссертационных советов.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО
«Мичуринский государственный аграрный университет».

Автореферат размещен на сайтах www.vak.ed.gov.ru, www.mgau.ru

Отзывы в двух экземплярах, заверенные и скрепленные гербовой пе-
чатью, просим направлять по адресу: 393760, Тамбовская область,
г. Мичуринск, ул. Интернациональная, д. 101, ученому секретарю диссер-
тационного совета ДМ 220.041.03.

Автореферат разослан _____ 2013 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



В.Ю. Ланцев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Проблемы истощения запасов нефти, необходимых для производства моторных топлив, наряду с глобальным загрязнением окружающей среды, существенная негативная роль в котором принадлежит двигателям внутреннего сгорания, становятся наиболее значимыми для человечества. Ситуация значительно ухудшится вследствие быстрого роста (в 3 раза к 2050 г.) автомобильного и тракторного парка, среди которых преобладает техника с дизельными двигателями. Из-за опережающего спроса на моторное топливо будет неизбежно возрастать дефицит нефти, который по оценкам специалистов уже к 2025 г. превысит величину более 2 млн. т в день.

При этом цены на топливо для дизельных двигателей, которое является основным энергоресурсом в сельскохозяйственном производстве, растут быстрее, чем его качество, определяемое совокупностью потребительских свойств, в первую очередь эксплуатационных и экологических.

Предлагается гипотеза продления сроков использования нефтепродуктов и улучшения потребительских свойств дизельного топлива за счет введения в него биодобавок, полученных переэтерификацией триацилглицеринов растительных масел спиртом. Разработка энергоэффективного технологического процесса получения биодобавок для улучшения потребительских свойств дизельного топлива является одной из главных задач сельскохозяйственной энергетики, имеющей краеугольное значение для сельскохозяйственного производства.

Степень разработанности темы. Для получения биодобавок разработаны биореакторы, использующие для интенсивного перемешивания исходных веществ следующие способы: механическое перемешивание; различные гидродинамические кавитаторы; роторные импульсно-кавитационные аппараты; аппараты с вихревым слоем ферромагнитных частиц, движущихся под воздействием вращающегося электромагнитного поля. Однако получение биодобавок по вышеуказанным способам имеет ряд недостатков: сложность и высокая стоимость изготовления основных узлов биореакторов; необходимость введения в технологический процесс дополнительных стадий (охлаждение обмоток индуктора); отсутствие эффективных способов разделения конечных продуктов реакции и проведения стадий нейтрализации и промывки.

Исследования проводились в соответствии с планом НИР ГНУ ВНИИТиН Россельхозакадемии по заданию 09.04.07.04 «Разработать улучшенную технологию переработки сырья растительного и органического происхождения в моторное топливо» и областной целевой программой «Развитие сельского хозяйства и регулирование рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия Тамбовской области на 2008 –

2012 годы», утвержденной Законом Тамбовской области № 317-з от 5 декабря 2007 г.

Цель работы. Улучшение потребительских свойств дизельного топлива за счет введения в него биодобавок, полученных переэтерификацией триацилглицеринов растительных масел спиртом.

Объект исследования. Технологический процесс получения биодобавок переэтерификацией триацилглицеринов растительных масел спиртом в аппаратах, использующих вихревой эффект Ранка–Хилша и эффект Коанда, для интенсификации синтеза исходных веществ, эффективности разделения и промывки конечных продуктов.

Предмет исследования. Закономерности движения растительных масел и спирта в вихревом аппарате, осложненного одновременно протекающими реакциями переэтерификации и тепломассопереносом.

Методика исследования. При решении поставленных задач использовались теоретические и экспериментальные методы исследований вращенных потоков в вихревых аппаратах. Теоретические исследования проводились на основе известных положений законов классической механики жидкости и газа, термодинамики, тепломассопереноса, технического анализа, программирования, математического моделирования с использованием программного комплекса Flow Vision. Экспериментальные исследования проводились для подтверждения обоснованности выбранных направлений исследований. Достоверность полученных результатов исследования обусловлена применением современного исследовательского оборудования и приборов, методов регрессионного анализа, результатами испытаний.

Основные научные положения диссертации, выносимые на защиту:

– теоретические предпосылки интенсификации процесса получения биодобавок путем переэтерификации триацилглицеринов растительных масел спиртом в вихревых аппаратах;

– технологический процесс непрерывного получения дизельного смесового топлива с улучшенными свойствами;

– результаты моделирования и экспериментальных исследований системы вихревых труб, разработанных на эффекте Ранка–Хилша, для проведения непрерывного процесса сепарации конечных продуктов реакции;

– результаты теоретических и экспериментальных исследований системы самовакумирующих вихревых аппаратов, разработанных на эффекте Коанда, для проведения непрерывных процессов промывки и нейтрализации биодобавок.

Научная новизна.

Заключается в комплексном подходе к решению задачи улучшения потребительских свойств дизельного топлива за счет введения в него био-

добавок, полученных из возобновляемого энергетического сырья, в результате которого разработаны:

- структурно-гидродинамические закономерности движения потоков в цилиндрической области трубы;

- математическая модель движения реакционной смеси в вихревом аппарате.

Практическая значимость:

- разработан способ получения биодобавок в вихревых аппаратах, основанных на эффекте Ранка–Хилша, разработана методика расчета био-реактора;

- при проведении численного моделирования гидродинамических процессов впервые для капельных жидкостей установлено влияние конструктивных параметров области энергоразделения вихревой трубы.

Результаты проведенных исследований использованы и внедрены в: ООО «Агроинжиниринг»; ООО «Теплоресурс»; реализация результатов исследования используется кафедрой «Автомобильная и аграрная техника» ФГБОУ ВПО «ТГТУ» по направлению подготовки магистров по программам 110300.01 – Технологии и средства механизации сельского хозяйства и 190600 – Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов.

Апробация работы. Результаты работы были доложены, обсуждены и получили положительную оценку на XVI Международной научно-практической конференции «Повышение эффективности использования ресурсов при производстве сельскохозяйственной продукции – новые технологии и техника нового поколения для растениеводства и животноводства» (г. Тамбов, ГНУ ВНИИТиН, 2011); VIII Международной научно-практической конференции «Актуальные научные разработки – 2012» (г. София, Болгария, 2012); VIII Международной научно-практической конференции «Современные научные достижения – 2012» (г. Прага, Чехия, 2012); конференции молодых ученых и специалистов отделения механизации, электрификации и автоматизации «Инновации в сельском хозяйстве» – 2013; Всероссийской выставке «Энергосбережение и энергоэффективность» (25 – 29 августа, г. Тамбов, 2011–2012 гг.); Российских агропромышленных выставках «Золотая осень» (г. Москва, ВВЦ, 2011–2012); заседаниях Ученого совета ГНУ ВНИИТиН Россельхозакадемии.

Публикации. По результатам выполненных исследований опубликовано 17 печатных работ, в том числе три статьи в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, получен патент РФ.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, общих выводов, списка использованных источников, включающего 115 наименований, и приложений. Работа изложена на 153 страницах, содержит 15 таблиц, 20 рисунков.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** приведена общая характеристика работы, обоснована ее актуальность, обозначены цель и задачи исследования, изложены основные научные положения и результаты, которые выносятся на защиту.

В **первой главе** «Анализ способов и технических средств получения биодобавок для улучшения потребительских свойств дизельного топлива» обоснована необходимость использования биодобавок к дизельному топливу, проанализировано современное представление об известных способах получения биодобавок переэтерификацией триацилглицеринов растительных масел спиртом, в результате анализа результатов исследований разработана классификация биореакторов по принципу действия, приведен обзор работ по исследованиям вихревых течений. Анализ известных работ показал, что большинство аналитических и теоретических трудов, направленных на объяснение эффекта Ранка–Хилша, оказались безуспешными. Выяснилось, что задача математического моделирования вихревых аппаратов и процессов сепарации на их основе до сих пор остается до конца не разрешенной из-за сложной структуры потока и эффекта температурного разделения. Наиболее полные исследования проведены с газами, поведение собственно полностью жидкостей в вихревых трубах изучено менее обстоятельно.

На основании выполненного анализа литературных и патентных источников и в соответствии с поставленной целью сформулированы задачи исследования:

- разработать и обосновать схему технологического процесса получения биодобавок в биореакторах вихревого слоя и смесового дизельного топлива;
- разработать математические модели описания процессов в вихревых аппаратах, разработанных на эффекте Ранка–Хилша, для проведения непрерывного процесса сепарации конечных продуктов реакции;
- разработать систему самовакумирующих вихревых аппаратов, основанных на эффекте Коанда, для проведения непрерывных процессов промывки и нейтрализации биодобавок.

Во **втором разделе** «Теоретические предпосылки процесса получения биодобавок в биореакторах вихревого слоя» представлены исследования закрученных потоков на основе решения полной системы уравнений Навье–Стокса. С использованием современных пакетов прикладных программ вычислительной гидродинамики имеется возможность создать математическую модель с незначительными допущениями и повысить точность описания вихревого эффекта для практической реализации. Для этого выбран программный комплекс CFD Flow Vision версии 2.05.04. Программный комплекс предназначен для моделирования трехмерных течений жидкости и газа в технических и природных объектах, а также визуализации этих течений методами компьютерной графики.

Моделируемые течения включают в себя стационарные и нестационарные, сжимаемые, слабосжимаемые и несжимаемые потоки жидкости. Использование различных моделей турбулентности и адаптивной расчетной сетки позволяет моделировать сложные движения жидкости, включая течения с сильной закруткой, горением, течения со свободной поверхностью. Программный комплекс Flow Vision основан на конечно-объемном методе решения уравнений гидродинамики и использует прямоугольную адаптивную сетку с локальным измельчением. Комплекс включает в себя уравнения:

Навье–Стокса

$$\frac{\partial \rho v}{\partial t} + \nabla \rho v = -\nabla P + \nabla \left((\mu + \mu_t)(\nabla v + (\nabla v)^T) \right) + S ; \quad (1)$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla(\rho v) = 0 , \quad (2)$$

где источник S равен

$$S = (\rho - \rho_{hyd})g + \rho + R ; \quad (3)$$

энергии

$$\frac{\partial(\rho h)}{\partial t} + \nabla(\rho v h) = \frac{\partial P}{\partial t} + \nabla \left(\left(\frac{\lambda}{c_p} + \mu_t \right) \nabla h \right) + Q . \quad (4)$$

Экспериментально установлено, что для интенсификации процесса получения биодобавок только кавитационного и термического воздействия на растительные масла и метанол недостаточно. Для создания высокоинтенсивного процесса метанолиза предлагается в качестве биореактора использовать вихревые аппараты, удельная энергетическая насыщенность рабочей зоны которых в несколько раз превышает аналогичные показатели всех известных аппаратов. Технологическая схема приведена на рисунке 1.

Растительное масло из резервуара 1 и раствор метилового спирта и катализатора из резервуара 3 подают в аппарат 2, где происходит предварительное смешивание продуктов. Нагретая предварительно до 40 °С смешавшаяся масса подается при помощи насоса в первичный вихревой аппарат 6. Окончательный синтез производится в вихревом аппарате 7. Полученные продукты реакции проходят через вихревые сепараторы, в которых происходит удаление загрязнений (вихревой аппарат 8) и разделение полученных продуктов реакции в виде глицерина и метилового эфира (вихревой аппарат 9). Глицерин отправляется на хранение в резервуар 4, а метиловый эфир отправляется в приемный резервуар 5. Из приемного резервуара 5 метиловый эфир подается в вихревой вакуумный аппарат 10, в котором происходит промывка и нейтрализация водой и фосфорной кислотой, забираемой из резервуара 11. После очистки и нейтрализации метиловый эфир подается в аппарат 12 для выпаривания. Резер-

вуар для выпаривания 12 оснащен вихревым блоком 13 для конденсации испаряемого метанола и воды. В данный вихревой блок 13 подается сжатый воздух из компрессора 15. Сконденсированные метанол и вода попадают в резервуар для сбора конденсата 14, а промытый и очищенный метиловый эфир отправляется в приемный резервуар 16. Из резервуара 16 метиловый эфир подается во вторичный вихревой аппарат (ВАПС-2) 17, куда одновременно с ним из резервуара 18 подается нефтяное дизельное топливо. Помещение нефтяного дизельного топлива и метилового эфира в ВАПС-2 необходимо для предварительного смешивания и упрощения подачи в вихревые реакторы 19, 20, на выходе из которых получается смешевое топливо. Далее полученное смешевое топливо проходит через вихревые сепараторы 21, 22 для отделения механических примесей и возможного попадания воды. Очищенное смешевое топливо отправляется в резервуар для хранения 23.

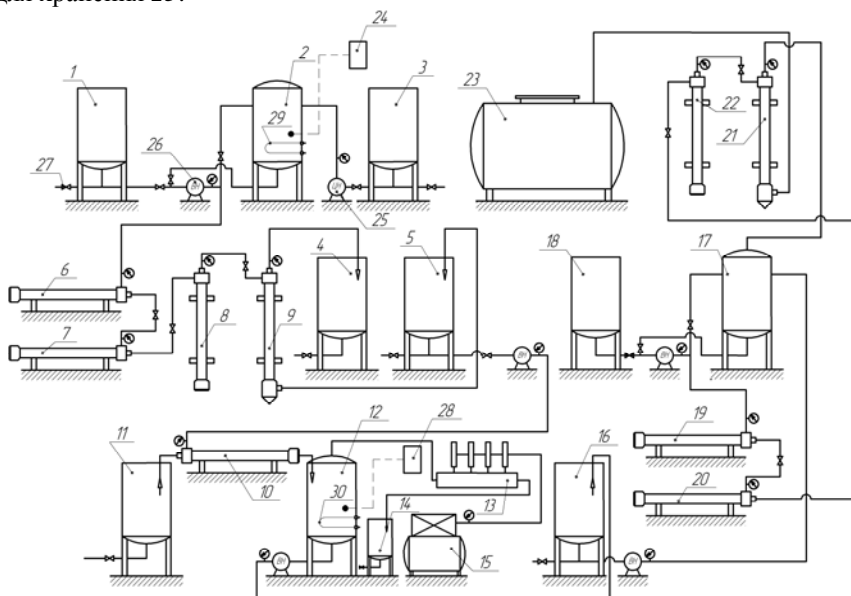


Рисунок 1 - Технологическая схема получения смешанного дизельного топлива

В третьем разделе «Методика экспериментальных исследований» изложены основные этапы и методики проведения экспериментов, рассмотрены установки, специальные измерительные приборы и оборудование.

Теоретические и экспериментальные исследования проведены в соответствии с разработанной программой, в которой сформировалась методологическая база изучения и приведены методы, использовавшиеся в работе.

При получении биодобавок применяли:

– установку для получения биодобавок в вихревом аппарате (на рис. 2 показан общий вид установки, на рис. 3 – общий вид вихревого аппарата).

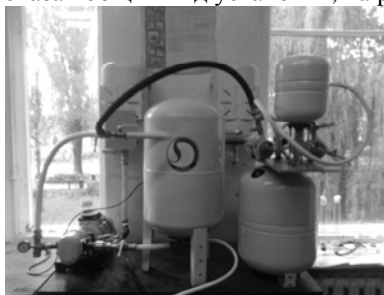
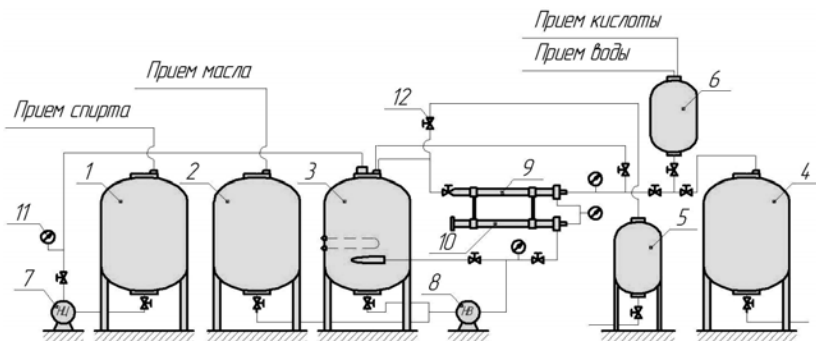


Рисунок 2 - Общий вид установки для получения биодизельного топлива в вихревом аппарате



Рисунок 3 - Общий вид вихревого аппарата

Схема экспериментальной установки представлена на рисунке 4.



- 1 – резервуар для хранения метанола; 2 – резервуар для хранения масла;
3 – вихревой аппарат для предварительного смешивания;
4 – резервуар для хранения биодизельного топлива; 5 – резервуар для хранения глицерина; 6 – резервуар для хранения воды и ортофосфорной кислоты;
7 – насос ЦН; 8 – насос НШ; 9 – вторичный вихревой аппарат;
10 – первичный вихревой аппарат; 11 – манометр; 12 – кран шаровый
- Рисунок 4 - Схема установки для получения биодобавок**

В четвертом разделе «Результаты экспериментальных исследований и их анализ» приведен анализ результатов исследований, проверка корректности теоретических предпосылок, отработка основных конструктивно-режимных и технологических параметров опытно-промышленных установок для получения биодобавок и смесового дизельного топлива.



Рисунок 5 - Вынужденное вихревое движение жидкости

Простейшим случаем вихревого движения жидкости или газа является вращение всего имеющегося объема, как твердого тела, вокруг некоторой оси (рис. 5) с постоянной угловой скоростью ω , при этом скорость кругового движения v элемента жидкости и расстояние r до оси вращения связаны уравнением $\omega = v/r$.

Такое движение называется вынужденным вихрем. Для данного движения характерно такое понятие, как завихренность (Γ).

$$\Gamma = \oint v dl . \quad (5)$$

В вынужденном вихре имеется радиальное разделение жидкости по величине кинетической энергии. Другим случаем вращения жидкости или газа является «свободный» вихрь, который описывается формулой $vr = C$.

При этом величина циркуляции (C) остается постоянной для любого замкнутого контура, охватывающего ось вращения, и равна нулю для любого другого контура. Причина возникновения свободных вихрей – законы сохранения момента импульса и механической энергии, поэтому характерное для свободного вихря распределение скорости возникает, если элементы жидкости или газа достаточно быстро изменяют радиус своего вращения. Поскольку при $r \rightarrow 0$ скорость вращения жидкости должна неограниченно возрастать, то в наиболее частом случае для такого движения характерно отсутствие жидкости в центре вихря.

Для лучшего понимания процессов и структуры течения в вихревых трубах следует, кроме рассмотренных вихрей, представить особенности течений в цилиндрических каналах. Для вихревой трубы характерно образование около завихрителя центральной зоны обратных течений, диаметр которой составляет около половины диаметра трубы. Причина возникновения обратных течений заключается в том, что по мере движения интенсивно вращающейся жидкости вдоль трубы ее тангенциальная скорость падает за счет торможения о стенки и, соответственно, уменьшается радиальный перепад давления. Если скорость поступательного движения вра-

щающейся жидкости вдоль трубы относительно невелика, то быстрое уменьшение радиального перепада давления вдоль трубы приводит к появлению на оси трубы отрицательного градиента давления, который и порождает обратное течение.

Для визуального наблюдения в вихревой зоне трубы сделан смотровой люк для регистрации структуры вихревых потоков. Проведенные испытания впервые установили, что при работе данной вихревой трубы на различных режимах через диафрагму происходил подсос воздуха (рис. 6).

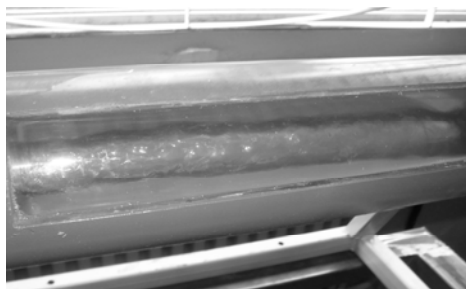


Рисунок 6 - Вращение воздуха, попавшего в вихревую трубу через диафрагму

Данная вихревая труба была помещена в воду для исследования характера вихревых потоков в жидкой среде. Проведенные испытания показали, что при работе данной вихревой трубы на различных режимах через диафрагму происходил подсос воды, и в режиме закрытого дросселя зафиксировано появление воздуха в области соплового входа, что представлено на рисунке 7.

Данное явление можно охарактеризовать как микрокавитационный процесс, образующийся в вихревой среде, когда происходит выброс энергии за счет «схлопывания» образовавшихся в жидкости полостей, заполненных газом. Исследование периферийного вынужденного вихря проводилось на узле с сопловым входом без вихревой части и дроссельной за-



Рисунок 7 - Вращение газовой воронки при закрытой дроссельной заслонке (воронка выходит из центра области соплового входа)

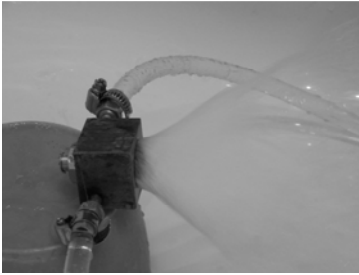


Рисунок 8 - Сопловой узел

слонки. Сопловой узел представлен на рисунке 8.

Рассмотренное истечение жидкости из соплового узла позволяет сделать вывод, что при начальном переходе периферийного вихря в центральный, последний занимает в вихревой трубе практически все пространство.

С учетом впервые обнаруженных факторов (подсос воздуха или жидкости через диафрагму, как следствие самовакуумирования вихревой трубы; обнаружение процесса микрокавитации) разработан механизм формирования вихревого эффекта.

По данным, полученным при проведении экспериментов на различных сопловых входах, был построен график распределения температур по длине вихревой трубы (рис. 9).

На основании полученных данных и анализа конструкций тангенциальных сопловых входов была спроектирована вихревая труба специальной конструкции. Предлагаемая конструкция отличается от известных, в частности:

- повышение количества сопел при сохранении расчетной площади соплового входа увеличивает как эффект охлаждения, так и эффект нагрева;
- приподнимание соплового входа от внутреннего диаметра вихревой трубы приводит к уменьшению подмешивания холодного воздуха к горячему периферийному потоку.

Готовые биодобавки и смесевое дизельное топливо подвергались комплексным исследованиям состава, структуры, свойств, показателей

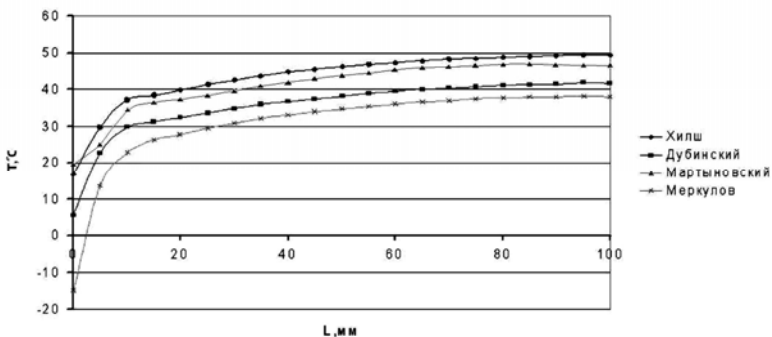


Рисунок 9 - Распределение температуры по длине вихревой трубы

качества, физико-химических и эксплуатационных параметров. В таблице приведено сравнение параметров полученных биодобавок со стандартными значениями, свидетельствующее о преимуществах разработанной технологии их получения в аппаратах, использующих эффекты Ранка–Хилша и Коанда.

Таблица - Сравнение параметров, полученных по разработанной технологии биодобавок, со стандартными значениями

Наименование показателей	США ASTM В-6751	Европа EN 14214	Опытный биодизель
Содержание метиловых эфиров, % (m/m)	–	>96,5	98,1
Плотность (при температуре 15 °С), кг/м ³	–	860...900	870
Вязкость (при температуре 40 °С)	1,9...6,0	3,5...5,0	4,5
Температура вспышки в закрытом тигле, °С	>130	>120	132
Сера, мг/кг	<0,05%	<10	8,3
Цетановое число	>47	>51	53
Сульфированная зола, % (m/m)	<0,02	<0,02	0,01
Массовая часть воды, %	<0,05	<0,05	0,01
Испытание на медной пластине	Выдер- живаает	Выдер- живаает	Выдер- живаает
Кислотное число, мгКОН/г	<0,8	<0,5	0,41
Массовая доля метанола, % (m/m)	–	<0,2	0,05
Массовая доля моноглицеридов, % (m/m)	–	<0,8	–
Массовая доля диглицеридов, % (m/m)	–	<0,2	–
Массовая доля триглицеридов, % (m/m)	–	<0,2	–
Массовая доля свободного глицерина, % (m/m)	<0,02	<0,02	0,01
Общее содержание глицерина, % (m/m)	<0,24	<0,25	0,17
Йодное число	–	<120	103
Содержание фосфора, мг/кг	<0,001%	<10	7,3
Содержание металлов I группы (Na, K)	–	<5,0	–
Содержание металлов II группы (Ca, Mg)	–	<5,0	–
Коксуемость, %, не более	–	0,3	–

Для проверки эффективности действия биодобавок к дизельному топливу проведены сравнительные моторные исследования работы дизеля на товарном дизельном и смесевом топливе по параметрам рабочего цикла, мощностным, экономическим и экологическим показателям. В качестве смесевого топлива использовали 20% биодобавок и 80% дизельного топлива. Предметом моторных экспериментальных исследований являлся тракторный дизель 4С11/12,5 (Д-240, Д-243) в штатной комплектации. Все системы и механизмы двигателя были проверены и отрегулированы в соответствии с инструкцией по эксплуатации тракторов МТЗ-80/82. Результаты экспериментальных исследований обработаны в виде графиков, приведенных на рис. 10.

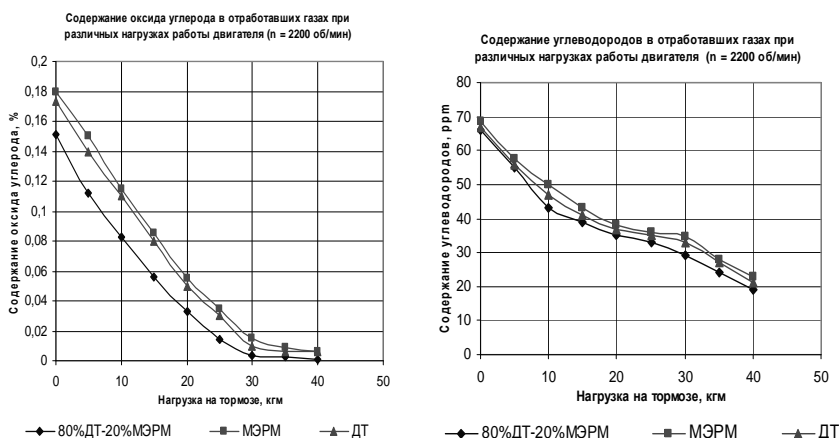


Рисунок 10 - Результаты экспериментальных исследований

В пятом разделе «Экономическая оценка результатов исследований» представлен расчет экономического эффекта по известной методике за счет снижения стоимости полученного смесевого топлива при эксплуатации одного трактора типа МТЗ-82. Экономическая эффективность от использования смесевого топлива только на одном тракторе составила 18 600 р. в год. В этом эффекте не учтено, что применяя смесевое топливо (светлые нефтепродукты и биодизель), мы улучшаем его качество (обуславливающее снижение затрат на проведение ТО и ремонтных работ), устраняем перерасход топлива (связанный с использованием некондиционных нефтепродуктов), уменьшаем загрязнение окружающей среды (способствующее обеспечению экологической безопасности сельскохозяйственного производства), обеспечиваем животноводство ценным кор-

мом (жмых и шрот, имеющие среднее содержание белка 35...40%), получаем глицерин с последующей его реализацией в фармацевтическую и химическую промышленность. Это дает возможность повысить эффективность процесса получения смесового топлива и получить дополнительную прибыль.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Анализ существующих способов и средств получения биодобавок к дизельному топливу показал, что они характеризуются рядом негативных факторов, которые снижают широкое внедрение их в практику. Настойчивые поиски путей усовершенствования этого процесса продолжаются во всех регионах мира. Проведенные теоретические и экспериментальные исследования выявили эффективность использования биореакторов вихревого типа, производительность которых может быть увеличена до 1000 кг/ч по исходному сырью. Разработан технологический процесс непрерывного получения дизельного смесового топлива с улучшенными свойствами.

2. Проведенные испытания выявили ранее неизвестное явление: при работе вихревой трубы на различных режимах через диафрагму происходил подсос воздуха. Это явление можно охарактеризовать как микрокавитационный процесс, образующийся в вихревой среде, когда происходит выброс энергии за счет «схлопывания» образовавшихся в жидкости полостей, заполненных газом.

3. Эффективность разделения полученных продуктов в основном определяет уровень энергетических и капитальных затрат для всего процесса в целом, а также экологическое его совершенство и конкурентоспособность. Анализ результатов моделирования и экспериментальных исследований системы вихревых труб, разработанных на эффекте Ранка–Хилша, показал высокую эффективность проведения непрерывного процесса разделения конечных продуктов реакции.

4. Разработана и решена в пакете Flow Vision система уравнений математической модели процессов в вихревой трубе в трехмерной постановке. Результаты вычислений показали наличие радиального поля температур, подтверждающее возможность теплообмена и возникновения температурной стратификации. Сравнение результатов натурных экспериментальных исследований процессов течения капельной жидкости в вихревых трубах с результатами численного моделирования показывает адекватность модели с точностью не хуже $\pm 5\%$ по относительным значениям интегральных температур. Сходимость параметров радиального температурного поля не хуже $\pm 1\%$ по абсолютным значениям.

5. Анализ результатов теоретических и экспериментальных исследований системы самовакумирующих вихревых аппаратов, разработанных на эффекте Коанда, впервые доказал возможность проведения непрерывных процессов промывки и нейтрализации биодобавок.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ИЗЛОЖЕНЫ В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ:

В изданиях, рекомендованных ВАК РФ:

1. **Павлов, С.С.** Гигроскопичность различных видов топлива в процессе хранения / С.В. Романцова, С.С. Павлов // Вестник Тамбовского университета. Сер. Естественные и технические науки. – Тамбов, 2011. – № 1. – С. 348 – 350.

2. **Павлов, С.С.** Предупреждение обводнения топлив при хранении / С.В. Романцова, С.С. Павлов // Вестник Тамбовского университета. Сер. Естественные и технические науки. – Тамбов, 2013. – № 1. – С. 253–254.

3. **Павлов, С.С.** Экспериментальное исследование изменения температуры потоков в вихревой трубе / С.С. Павлов, Н.А. Колмаков // Инновации в сельском хозяйстве. – М. : Изд-во ВИЭСХ, 2013. – № 2. – С. 75 – 78.

Изобретения и полезные модели:

4. Пат. 2477303 Российская Федерация, МПК C10 G31/10. Способ очистки дизельного топлива / Остриков В.В., Корнев А.Ю., Бектилецов А.Ю., Павлов С.С. ; заявитель и патентообладатель Государственное научное учреждение Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов Российской академии сельскохозяйственных наук (ГНУ ВНИИТиН Россельхозакадемии) – № 2012106683/04 ; заявл. 22.02.2012 ; опубл. 10.03.2013, Бюл. № 7. – 6 с. : ил.

Публикации в сборниках научных трудов и материалах конференций:

5. **Павлов, С.С.** Использование эффекта турбулентности для получения биодизельного топлива / С.В. Романцова, С.С. Павлов, Н.А. Колмаков // Повышение эффективности использования ресурсов при производстве сельскохозяйственной продукции – новые технологии и техника нового поколения для растениеводства и животноводства : сб. науч. докл. XVI Междунар. науч.-практ. конф., 20–21 сентября 2011 года, г. Тамбов. – Тамбов : Изд-во Першина Р.В., 2011.

6. **Павлов, С.С.** Пути увеличения эффекта охлаждения в вихревых трубах / А.Н. Зазуля, С.А. Нагорнов, С.С. Павлов, М.Ю. Левин // «Акту-

альные научные разработки» (17 – 25 января 2012 г., Болгария) : сб. тр. конф. – София : «Бял ГРАД-БГ» ООД, 2012.

7. **Павлов, С.С.** Экспериментальное исследование температурного разделения трубки ранка с рубашкой охлаждения / А.Н. Зазуля, С.А. Нагорнов, С.С. Павлов, М.Ю. Левин // «Актуальные научные разработки» (17 – 25 января 2012 г., Болгария) : сб. тр. конф. – София : «Бял ГРАД-БГ» ООД, 2012.

8. **Павлов, С.С.** Влияние давления и температуры входного потока воздуха на температуры выходных потоков вихревой трубы / А.Н. Зазуля, С.А. Нагорнов, С.С. Павлов, М.Ю. Левин // *Moderní vymoženosti vědy – 2012: VIII Mez. ved.-pract. Konf. (27 ledna – 05 února 2012)*. – Praha : Publishing House «Education and Science» s.r.o., 2012. – P. 18 – 21.

9. **Павлов, С.С.** Очистка загрязненного дизельного топлива и повышение его смазывающих свойств в условиях предприятий АПК / В.В. Остриков, А.Ю. Корнев, С.С. Павлов // Сборник научных докладов ВИМ. – М., 2012. – С. 188 – 194.

10. **Павлов, С.С.** Способ снижения потерь нефтепродуктов / С.В. Романцова, С.С. Павлов, Н.А. Колмаков // «Актуальные проблемы естественных наук» : мат-лы Междунар. заоч. науч.-практ. конф. – Тамбов : Издательский дом ТГУ им. Г.Р. Державина. – 2012. – С. 46 – 50.

11. **Павлов, С.С.** Исследование энергоразделения в однопоточной вихревой трубе / С.С. Павлов // Наука в центральной России. – Тамбов, 2013. – № 1. – С. 83 – 88.

12. **Павлов, С.С.** Влияние давления входного потока воздуха на энергетическое разделение в вихревых трубах / С.С. Павлов // Наука в центральной России. – Тамбов, 2013. – № 2. – С. 60 – 63.

13. **Павлов, С.С.** Биохимические особенности отдельных представителей диатомей / С.С. Павлов, И.В. Ерохин, Ю.В. Мещерякова // «Молодые ученые в решении актуальных проблем науки» : сб. тр. – Владикавказ, 2013.

14. **Павлов, С.С.** Экспериментальное исследование внутреннего температурного разделения в трубке ранка / С.В. Романцова, М.В. Ларина, С.С. Павлов, И.В. Ерохин, Ю.В. Мещерякова // «Актуальные проблемы естественных наук» : мат-лы Междунар. заоч. науч.-практ. конф. – Тамбов : Издательский дом ТГУ им. Г.Р. Державина, 2013. – С. 106 – 109.

15. **Павлов, С.С.** Исследование структуры потоков в вихревой трубе / С.В. Романцова, М.В. Ларина, С.С. Павлов, И.В. Ерохин, Ю.В. Мещерякова // «Актуальные проблемы естественных наук» : мат-лы Междунар. заоч.

науч.-практ. конф. – Тамбов : Издательский дом ТГУ им. Г.Р. Державина, 2013. – С. 109 – 114.

16. **Павлов, С.С.** Триацилглицерины отдельных представителей микроводорослей как первичный продукт в производстве биотоплива / С.В. Романцова, М.В. Ларина, С.С. Павлов, И.В. Ерохин, Ю.В. Мещерякова // «Актуальные проблемы естественных наук» : мат-лы Междунар. заоч. науч.-практ. конф. – Тамбов : Издательский дом ТГУ им. Г.Р. Державина, 2013. – С. 114 – 118.

17. **Павлов, С.С.** Подбор оптимальных условий культивирования и состав липидов микроводоросли *CHLORELLA VULGARIS BEIJ* для получения биотоплива третьего поколения / С.В. Романцова, М.В. Ларина, С.С. Павлов, И.В. Ерохин, Ю.В. Мещерякова // «Актуальные проблемы естественных наук» : мат-лы Междунар. заоч. науч.-практ. конф. – Тамбов: Издательский дом ТГУ им. Г.Р. Державина, 2013. – С. 119 – 123.

Подписано в печать 16.09.2013.
Формат 60×84/16. 0,93 усл. печ. л. Тираж 100 экз. Заказ № 417

Издательско-полиграфический центр ФГБОУ ВПО «ТГТУ»
392000, г. Тамбов, ул. Советская, д. 106, к. 14