УДК 662.75; 004.942

DOI: 10.35887/2305-2538-2020-4-98-106

**ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ ПЕРЕЭТЕРИФИКАЦИИ ЖИРОВ
РАСТИТЕЛЬНОГО И ЖИВОТНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ**¹**Нагорнов Станислав Александрович**¹**Корнев Алексей Юрьевич**^{1,2}**Романцова Светлана Валерьевна**¹ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт
использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве»²ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный университет им. Г.Р. Державина»

Реферат. Обобщены и проанализированы литературные данные по существующим технологиям получения биодизельного топлива. Выявлены достоинства и недостатки технологических процессов. Показаны перспективные направления исследований по улучшению отдельных стадий процесса, проводимых в развитых странах. Установлено, что себестоимость и качество получаемого биодизельного топлива зависит не только от используемого исходного сырья, но и от методов управления соответствующим технологическим процессом. Подчеркнуто, что, несмотря на практическую потребность, в современной научно-технической литературе практически отсутствует информация о методах автоматического управления производственным процессом. Рассмотрены положительные и отрицательные характеристики используемого при получении биодизельного топлива блока узла подачи исходных веществ. Предложен вариант улучшения управления процессом получения биодизельного топлива за счет его автоматизации. Разработаны способы перехода к оптимальным режимам работы, позволяющим повысить эффективность данного производства. Полученные оптимальные режимы работы апробированы на разработанной в ФГБНУ ВНИИТН технологии получения биодизельного топлива из жиров растительного и животного происхождения. Данная технология позволяет получать биодизельное топливо, соответствующее требованиям международного стандарта EN 14214. Приведены общий вид и разработанная принципиальная схема указанной установки. Установлен вид неравенства, который обуславливает степень конверсии растительных масел в биодизельное топливо не менее 97 %. Выявлено, что при проведении процесса получения биодизельного топлива управляющим воздействием служит мощность N , затрачиваемая на передвижение обрабатываемой среды через реактор. Обоснован критерий оптимальности K , с помощью которого можно перейти к энергоресурсосберегающим режимам эксплуатации оборудования для получения биодизельного топлива.

Ключевые слова: биодизельное топливо, реакция переэтерификации, установка, технология, оптимизация, управление, блоки, программы, процессор, микроконтроллер, матричный экран.

**OPTIMAL CONTROL FOR THE PROCESS OF TRANSESTERIFICATION
OF VEGETABLE AND ANIMAL FATS**¹**Nagornov Stanislav**¹**Kornev Alexey**^{1,2}**Romantsova Svetlana**¹FSBSI "All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture"²FSBEI HE "Tambov State University named after G.R. Derzhavin"

Abstract. Literature data on existing technologies for producing biodiesel are summarized and analyzed. Advantages and disadvantages of technological processes are revealed. The article shows promising research directions for improving certain stages of the process carried out in developed countries. It is established that the cost and quality of the obtained biodiesel fuel depends not only on the raw materials used, but also on the methods of managing the corresponding technological process. It is emphasized that, despite the practical need, there is practically no information about methods of automatic control of the production process in the modern scientific and technical literature. The positive and negative characteristics of the unit used in the production of biodiesel feedstock feed unit are

considered. A variant of improving the management of the process of obtaining biodiesel by automating it is proposed. We have developed ways to switch to optimal operating modes that allow increasing the efficiency of this production. The resulting optimal modes of operation tested on the developed in the center Unitin technology in biodiesel production from fats of vegetable and animal origin. This technology allows us to produce biodiesel that meets the requirements of the international standard EN 14214. The General view and developed schematic diagram of the specified installation are given. The resulting optimal modes of operation tested on the developed in the center Unitin technology in biodiesel production from fats of vegetable and animal origin. This technology allows us to produce biodiesel that meets the requirements of the international standard EN 14214. The General view and developed schematic diagram of the specified installation are given. The type of inequality that determines the degree of conversion of vegetable oils to biodiesel is not less than 97 %. The General view and developed schematic diagram of the specified installation are given. The type of inequality that determines the degree of conversion of vegetable oils to biodiesel is not less than 97 %. It is revealed that during the process of obtaining biodiesel fuel, the controlling influence is the power N spent on the movement of the treated medium through the reactor. The optimality criterion K , which can be used to switch to energy-saving modes of operation of equipment for the production of biodiesel, is justified.

Keywords: *biodiesel, transesterification reaction, installation, technology, optimization, control, blocks, programs, processor, microcontroller, matrix screen.*

Введение. Для решения глобальных экологических и энергетических проблем в качестве моторного топлива все шире применяются возобновляемые источники энергии. Наибольшее распространение получило биодизельное топливо [1 – 6]. Несмотря на то, что реакция переэтерификации, как самый важный процесс его получения, известна на протяжении многих десятилетий, во многих передовых странах до сих пор проводятся исследования и поиск научно обоснованных путей модернизации указанного технологического процесса [7 – 11]. Основное внимание уделяется уточнению кинетики процесса, выбору типа катализатора и наилучшего конструктивного оформления реактора [12]. Наименее изученным остаются вопросы, связанные с автоматизацией и управлением рассматриваемого процесса. Вместе с тем, оптимальное управление процессом обуславливает улучшение качества получаемого биодизельного топлива при уменьшении его себестоимости.

Цель исследований – разработка способов оптимального управления процессом синтеза биотоплива с учетом технологических ограничений, позволяющих повысить эффективность данного производства.

Материалы и методы. При исследовании факторов, обуславливающих эффективность получения биотоплива, использованы информационные методы исследования: аналитические, статистические, сравнительные и информационно-логические методы обработки и анализа исходной информации, методы системного подхода.

Результаты и их обсуждение. В настоящей работе использован комплексный подход, учитывающий взаимозависимость и взаимосвязь параметров отдельных стадий техпроцесса. На основе выявления резервов энергоресурсосбережения предложен один из вариантов совершенствования управления процессом получения биодизельного топлива, позволяющий перейти к оптимальным режимам работы и повысить эффективность данного производства.

Полученные оптимальные режимы работы апробированы на разработанной в ФГБНУ ВНИИТиН технологии получения биодизельного топлива из отработанных растительных масел. Установка предназначена для получения биодизельного топлива соответствующего требованиям международного стандарта EN 14214. Соответствующие блоки установки (общий вид) показаны на рисунке 1, а принципиальная схема с указанием основных технических характеристик узлов – на рисунке 2.

Исходя из вышесказанного, основной стадией процесса получения биотоплива является переэтерификация – взаимодействие триацилглицеринов с метиловым спиртом в присутствии катализатора. Предельным (идеальным) случаем синтеза является условие полного взаимодействия триацилглицеринов со спиртом. Однако на практике это условие невыполнимо. Степень конверсии растительных масел в биодизельное топливо определяется путем определения концентраций диацилглицеринов (C_1), моноацилглицеринов (C_2), метанола (C_3) и глицерина (C_4) на выходе из реактора за время (τ_k).

- 1 – емкость с растительным маслом; 2 – емкость первой стадии перемешивания реагентов;
 3 – емкость с метиловым спиртом; 4 – технологический реактор; 5 – резервная емкость;
 6 – аппарат предварительной очистки, 7 – емкость для предварительно очищенного биодизеля;
 8 – устройство для удаления паров спирта; 9 – устройство для перевода паров в жидкость;
 10 – емкость с готовым биодизелем; 11 – устройство для смешивания;
 12 – устройство для нагнетания воздуха; 13 – устройство для подачи веществ;
 14 – металлоконструкция

Рисунок 1 – 3Д-модель получения биотоплива

- 1 – Аппарат с катализатором реакции; 2 – Емкость первой стадии перемешивания;
 3 – Аппарат для проведения реакции; 4 – 6 – Емкости для трехстадийной очистки биодизеля;
 7 – Аппарат для удаления спирта; 8 – Устройство для нагнетания воздуха;
 Н1– Н8 – механизмы перекачки жидких сред;

Рисунок 2 – Блок-схема процесса синтеза биотоплива

Для того, чтобы степень конверсии растительных масел в биодизельное топливо была не менее 97 %, должно соблюдаться следующее неравенство:

$$C_1(\tau_k) + C_2(\tau_k) + C_3(\tau_k) + C_4(\tau_k) \leq 0,03. \quad (1)$$

Управляющим воздействием при проведении процесса получения биотоплива является мощность N , затрачиваемая на передвижение обрабатываемой среды через реактор. Поскольку качество конечного продукта обусловлено, в частности, временем протекания реакции переэтерификации, то величина N должна находиться в пределах от минимального $N_{\min}$ до максимального $N_{\max}$ значения, то есть

$$N_{\min} \leq N \leq N_{\max} \quad (2)$$

Для получения конечного продукта высокого качества нужно контролировать давление p на выходе из реактора, которое также должно быть ограничено его предельными значениями, то есть

$$p_{\min} \leq p \leq p_{\max} \quad (3)$$

Эффективность решения нашей задачи непосредственно связана с выбором параметра оптимизации, как функции варьируемых режимов техпроцесса, взаимообуславливающего технологические и экономические параметры стадий техпроцесса: минимальную себестоимость заданного объема биотоплива за один цикл работы реактора, как основного показателя экономической эффективности рассматриваемого процесса.

Поскольку затраты на зарплату производственных рабочих, отчисления в социальные фонды, на содержание и эксплуатацию оборудования, цеховые затраты, внепроизводственные расходы при заданных параметрах рассматриваемого техпроцесса практически неизменны (не варьируются), то для нашего случая критерий оптимальности K_{oc} принимает вид

$$K_{oc} = \frac{C_{vo} + C_{met} + C_{el}}{V_{bio}}, \quad (4)$$

где C_{vo} – затраты на приобретение отработанного растительного масла, тыс. руб.; C_{met} – затраты на приобретение метилового спирта и катализатора, тыс. руб.; C_{el} – энергозатраты, складывающиеся из затрат на электроэнергию, тыс. руб.; V_{bio} – месячный выпуск биодизельного топлива, кг.

Требуется определить значения параметров x_i , при которых отклик системы y принимает значение $y_{\min}$. Целевая функция отклика $y = y(x_1, x_2, V_{bio}, x_3)$, тогда задача оптимизации сводится к нахождению $x_{1onm}, x_{2onm}, V_{bio}, x_{3onm}$, обеспечивающий экстремум функции цели

$$y(x_{1onm}, x_{2onm}, V_{bio}, x_{3onm}) = y_{\min}. \quad (5)$$

На значения параметров накладываются кроме ограничений (1-3) дополнительные ограничения на выпуск биодизельного топлива

$$V_{bio} = m_{mix} \cdot C_5(\tau_k) \text{ и } \tau_k \leq \tau^* \quad (6)$$

где m_{mix} – масса исходных веществ; $C_5(\tau_k)$ – концентрация метиловых эфиров (биотоплива); τ^* – время окончания технологического процесса.

Разработка оптимального программного управления процессом синтеза биотоплива заключается в контроле продолжительности процесса и определении времени его окончания τ_k^* и функцию управляющих воздействий $u^*(\tau)$, $\tau \in (0, \tau_k)$, при которых параметр оптимизации стремится к минимальному значению.

В качестве примера рассмотрим работу блока узла подачи исходных веществ. Работа данного блока одна из самых ответственных во всем цикле получения биодизельного топлива. Именно в этом блоке происходит начальная дозировка исходных веществ и от того насколько точно соблюдены пропорции, зависит напрямую качество конечного продукта.

Для сокращения времени получения конечного продукта и общих энергозатрат установки разработан алгоритм управления (рисунок 3), описание работы которого приведено в таблице 1.

Все параметры процесса фиксируются соответствующими приборами (рисунок 4).

Разработанная оригинальная система автоматизации и диспетчеризации установки для получения биодизельного топлива предназначена для: контроля и управления установкой; регулирования технологических параметров на различных этапах получения биодизельного топлива; обеспечения экономного потребления тепловой и электрической энергии; мониторинга технологических параметров; обработки и хранения значений контролируемых параметров; оповещения дежурного персонала о возникновении нештатных ситуаций.

Рисунок 3 – Упрощенный алгоритм управления работой узла подачи исходных веществ

Таблица 1 – Описание работы управления работой узла подачи исходных веществ (рисунок 3)

0	Начало работы узла подачи исходных веществ
1	Для начала работы блока необходимо ввести начальные параметры. Начальные параметры вводятся в контроллер посредством панели управления, расположенной на щите управления. К начальным параметрам, относится следующее: - количество исходного масла для переработки, кг; - плотность исходного масла для переработки, кг/м ³ ; - плотность исходного спирта, кг/м ³ ;
2	На данном этапе блок-схемы ведется расчет необходимых концентраций исходных веществ, согласно предложенному способу. Концентрации далее соответственно будут использованы на этапе 5.
3	На данном этапе блок-схемы, начинается одновременное выполнение двух процессов. Вначале контроллером подается команды на открытие электрических задвижек №1 и №6. Одновременное протекание двух процессов обусловлено, в первую очередь предложенным способом получения БДТ, включающем предварительное смешивание в вихревом аппарате. Во-вторых, с экономией времени работы блока.
4	На данном этапе включаются насосы №2 и №5 для начала подачи исходных веществ в вихревой блок предварительного смешивания. Вместе с этим контроллер начинает считывать сигналы со счетчиков №3 и №4. Погрешность измерения счетчиков, согласно паспорту, +/- 0,2%
5	На данном этапе проводится проверка условий. Условия задаются на этапе 2 (концентрации). Контроллер проверяет прошло ли по счетчикам рассчитанное количество веществ. Погрешность измерения счетчиков, согласно паспорту, +/- 0,2%. Как только по счетчику пройдет расчетное кол-во веществ, программа переходит на этап 6.
6	На данном этапе предусматривается выключение насосов, с целью прекращения подачи исходных веществ в вихревой аппарат предварительного смешивания. Для предотвращения гидравлического удара, это происходит до закрытия запорной арматуры.
7	На данном этапе происходит закрытие запорной арматуры №1 и №6
8	Окончание работы узла подачи исходных веществ

а

б

Рисунок 4 – Общий вид контроллеров, релейных плат (а) и матричного экрана (б)

Система является программно-аппаратным комплексом собственной разработки. Комплекс имеет централизованную, иерархическую многоуровневую структуру, функционирующую в автоматическом режиме. Для сбора, отображения, обработки и хранения результатов измерений, а также управления, выполняемых периферийным оборудованием системы, оборудуется один диспетчерский пункт, оборудованный в помещении операторной.

Структурно оборудование системы разделено на *три уровня*.

К оборудованию и программному обеспечению *первого уровня* относятся: автоматизированное рабочее место (АРМ) оператора; операционная система, под управлением которой работает АРМ системы; специализированное программное обеспечение, обеспечивающее выполнение основных функций системы; средства удаленного управления оборудованием второго уровня; средства связи. Структурно комплекс оборудования и программного обеспечения первого уровня является управляющим для прочих компонентов системы.

К оборудованию *второго уровня* относятся шкафы диспетчеризации и управления, а также программное обеспечение в составе: средства управления связью с комплексом автоматики установки; средства сбора информации с первичных преобразователей температуры, датчиков давления, расходомеров, дозаторов, датчиков уровня и т.д.; средства управления запорной арматурой и насосными агрегатами. Оборудование второго уровня устанавливается в помещении размещения установки.

К оборудованию *третьего уровня* относятся измерительные приборы, датчики, сигнализаторы, а также исполнительные устройства – запорная арматура с электроприводом и насосные агрегаты, дозаторы.

В свою очередь шкафы диспетчеризации и управления, являются управляющими устройствами локальной подсистемы, в состав которой входит оборудование установки по получению биодизельного топлива. Подсистема диспетчеризации и управления установкой содержит каналы измерения технологических параметров и позволяет получать следующую информацию: количество (уровень) исходных и конечных компонентов в емкостях; температуру (°C) в выбранных точках системы; давление (кПа) в выбранных точках системы; состояние, в котором находится система (приготовление исходной смеси, предварительное смешивание компонентов и т.д.); пожарная сигнализация; охранная сигнализация; наличие электропитания; работа насосов; работа запорной арматуры; расход электрической энергии и воды.

Также возможно отображение данных (технологических параметров, журнала аварийных сообщений, сведений о количестве полученного конечного продукта и т.д.) в удаленном режиме на экране компьютера, ноутбука, планшетного компьютера, смартфона-коммуникатора при наличии интернет соединения.

Таким образом, разработанная система позволяет автоматизировать процесс получения биодизельного топлива от забора компонентов из исходных емкостей вплоть до заполнения емкостей с конечным продуктом, что в соединении с инновационной технологией получения биодизельного топлива позволит сократить время реакции (более 20 %), расходы на электрическую энергию (экономия суммарных удельных энергозатрат свыше 10 %), уменьшить габаритные размеры установки и повысить надежность устойчивости функционирования установки в непрерывном режиме. Установка работает в автоматическом режиме. Загрузка масла составляет 600 кг/ч. Результаты использования разработанного способа оптимального управления приведены в таблице 2. Следует отметить отсутствие некондиционного топлива при оптимальном управлении реакции перэтерификации.

Таблица 2 – Основные преимущества использования оптимального управления

Показатели	По базовому варианту	При оптимальном управлении
Масса полученного биотоплива, кг	117,3	124,5
Количество затраченной мощности, кВт/ч	3,18	2,64
Себестоимость, руб/кг	5,26	4,88

Анализ проведенных исследований показывает, что при найденных оптимальных режимах управления концентрация биотоплива в реакционной смеси достигает не менее 95%. Давление, при котором реакционную смесь следует перекачивать на следующую стадию процесса необходимо поддерживать в пределах 115±5 кПа.

Заключение. Разработанный алгоритм оптимального управления приводит к более полному использованию исходных веществ, увеличивая выход биодизельного топлива до 98 %. Работа установки в автоматическом режиме предотвращает возможные ошибки и просчеты ручного

режима, совершаемого оператором. Это приводит к улучшению качества получаемого биотоплива. Широкое использование разработанного в настоящей статье алгоритма оптимального управления позволит снизить себестоимость биодизельного топлива при улучшении его качества в полном соответствии с требованиями соответствующих стандартов.

Список литературы

1. Нагорнов С.А., Марков В.А., Девянин С.Н. Применение смесевых биотоплив на основе метиловых эфиров растительных масел в транспортных дизелях // Безопасность в техносфере. – 2011. – № 6. – С. 26-33.
2. Марков В.А., Девянин С.Н., Нагорнов С.А., Акимов В.С. Биодизельные топлива из различных сырьевых ресурсов // Транспорт на альтернативном топливе. – 2011. – № 3 (21). – С. 25-31.
3. Марков В.А., Девянин С.Н., Нагорнов С.А., Л.И. Быковская. Оптимизация состава многокомпонентных биотоплив для дизелей сельскохозяйственных машин // Наука в центральной России. – 2013. – № 3. – С. 36-53.
4. Гаврилова В.А., Конькова Н.Г., Нагорнов С.А., Романцова С.В. Рыжик – перспективная масличная культура для производства биодизельного топлива // Агро XXI. – 2013. – № 1-3. – С. 43-44.
5. Нагорнов С.А., Романцова С.В., Корнев А.Ю., Мещерякова Ю.В. Липиды микроводорослей как сырьё для синтеза биодизельного топлива / В книге: XX Менделеевский съезд по общей и прикладной химии. Тезисы докладов в 5 томах. Уральское отделение Российской академии наук. – 2016. – С. 465.
6. Ликсутина А.П., Романцова С.В., Корнев А.Ю., Ерохин И.В. Влияние биодизельного топлива на некоторые конструкционные материалы // Инновации в сельском хозяйстве. – 2015. – № 2 (12). – С. 130-134.
7. Нагорнов С.А., Дворецкий Д.С., Дворецкий С.И., Ермаков А.А. Моделирование гидродинамики в реакторе с вихревым слоем ферромагнитных частиц при синтезе биотоплива // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. – 2010. – № 10-12 (31). – С. 359-368.
8. Нагорнов С.А., Романцова С.В., Рязанцева И.А., Бодягина С.В. Интенсификация синтеза биодизельного топлива вращающимся электромагнитным полем // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2010. – № 5. – С. 8-10.
9. Нагорнов С.А., Корнев А.Ю., Романцова С.В., Ерохин И.В. Инновационная технология получения биодизельного топлива // Сельский механизатор. – 2015. – № 7. – С. 36-37.
10. Дворецкий Д.С., Нагорнов С.А., Ермаков А.А., Неизвестная С.В. Технология получения биодизельного топлива с использованием гетерофазных катализаторов и СВЧ-нагрева // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. – 2012. – № 5 (39). – С. 136-143.
11. Нагорнов С.А., Дворецкий Д.С., Дворецкий С.И., Ермаков А.А. Моделирование процесса метанолиза растительных масел в аппарате вихревого слоя ферромагнитных частиц // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2010. – Т. 16. – № 4. – С. 944-953.
12. Нагорнов С.А., Романцова С.В., Дворецкий С.И., Таров В.П. Исследование кинетики процесса метанолиза при переработке растительного масла в биотопливо // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2009. – Т. 15. – № 3. – С. 572-580.

References

1. Nagornov S.A., Markov V.A., Devjanin S.N. Primenenie smesevykh biotopliv na osnove metilovykh jeftirov rastitel'nykh masel v transportnykh dizeljah // Bezopasnost' v tehnosfere. – 2011. – № 6. – S. 26-33.
2. Markov V.A., Devjanin S.N., Nagornov S.A., Akimov V.S. Biodizel'nye topliva iz razlichnykh syr'evykh resursov // Transport na al'ternativnom toplive. – 2011. – № 3 (21). – S. 25-31.
3. Markov V.A., Devjanin S.N., Nagornov S.A., L.I. Bykovskaja. Optimizacija sostava mnogokomponentnykh biotopliv dlja dizelej sel'skhozjajstvennykh mashin // Nauka v central'noj Rossii. – 2013. – № 3. – S. 36-53.
4. Gavrilova V.A., Kon'kova N.G., Nagornov S.A., Romancova S.V. Ryzhik – perspektivnaja maslichnaja kul'tura dlja proizvodstva biodizel'nogo topliva // Agro XXI. – 2013. – № 1-3. – S. 43-44.
5. Nagornov S.A., Romancova S.V., Kornev A.Ju., Meshherjakova Ju.V. Lipidy mikrovodoroslej kak syr'jo dlja sinteza biodizel'nogo topliva / V knige: HH Mendeleevskij s#ezd po obshhej i prikladnoj himii. Tezisy dokladov v 5 tomah. Ural'skoe otdelenie Rossijskoj akademii nauk. – 2016. – S. 465.

6. Liksutina A.P., Romancova S.V., Kornev A.Ju., Erohin I.V. Vlijanie biodizel'nogo topliva na nekotorye konstrukcionnye materialy // *Innovacii v sel'skom hozjajstve*. – 2015. – № 2 (12). – S. 130-134.
7. Nagornov S.A., Dvoreckij D.S., Dvoreckij S.I., Ermakov A.A. Modelirovanie gidrodinamiki v reaktore s vihrevym sloem ferromagnitnyh chastic pri sinteze biotopliva // *Voprosy sovremennoj nauki i praktiki*. Universitet im. V.I. Vernadskogo. – 2010. – № 10-12 (31). – S. 359-368.
8. Nagornov S.A., Romancova S.V., Rjazanceva I.A., Bodjagina S.V. Intensifikacija sinteza biodizel'nogo topliva vrashhajushhimsja jelektrromagnitnym polem // *Mehanizacija i jelektrifikacija sel'skogo hozjajstva*. – 2010. – № 5. – S. 8-10.
9. Nagornov S.A., Kornev A.Ju., Romancova S.V., Erohin I.V. Innovacionnaja tehnologija poluchenija biodizel'nogo topliva // *Sel'skij mehanizator*. – 2015. – № 7. – S. 36-37.
10. Dvoreckij D.S., Nagornov S.A., Ermakov A.A., Neizvestnaja S.V. Tehnologija poluchenija biodizel'nogo topliva s ispol'zovaniem geterofaznyh katalizatorov i SVCh-nagreva // *Voprosy sovremennoj nauki i praktiki*. Universitet im. V.I. Vernadskogo. – 2012. – № 3 (39). – S. 136-143.
11. Nagornov S.A., Dvoreckij D.S., Dvoreckij S.I., Ermakov A.A. Modelirovanie processa metanoliza rastitel'nyh masel v apparate vihrevogo sloja ferromagnitnyh chastic // *Vestnik Tambovskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta*. – 2010. – T. 16. – № 4. – S. 944-953.
12. Nagornov S.A., Romancova S.V., Dvoreckij S.I., Tarov V.P. Issledovanie kinetiki processa metanoliza pri pererabotke rastitel'nogo masla v biotoplivo // *Vestnik Tambovskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta*. – 2009. – T. 15. – № 3. – S. 572-580.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Нагорнов Станислав Александрович – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: snagornov@yandex.ru.

Корнев Алексей Юрьевич – кандидат технических наук, заместитель директора по научной работе Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: viitinlab7@yandex.ru.

Романцова Светлана Валерьевна – кандидат химических наук, доцент Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный университет им Г.Р. Державина», Россия, г. Тамбов, e-mail: svromantsova@yandex.ru.

Author credentials

Affiliations

Nagornov Stanislav – Full Doctor of Technical sciences, Professor, Chief Researcher of Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture”, Russia, Tambov, e-mail: snagornov@yandex.ru.

Kornev Aleksey – Candidate of Technical Sciences, Deputy Director for Science of Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture”, Russia, Tambov, e-mail: viitinlab7@yandex.ru.

Romantsova Svetlana – Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Tambov State University named after G.R. Derzhavin», Russia, Tambov, e-mail: svromantsova@yandex.ru.

Поступила в редакцию (Received): 06.07.2020

Принята к публикации (Accepted): 15.08.2020