

Раздел 2 СУДОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ, СИСТЕМЫ И УСТРОЙСТВА

УДК 621.431.74: 662.756.3
DOI: 10.34046/aumsuomt105/20

ПОЛУЧЕНИЕ КОМПОНЕНТОВ БИОТОПЛИВА ДЛЯ СУДОВЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

А.В. Громаков, кандидат технических наук, доцент
А.В. Филь, кандидат технических наук, доцент

В статье рассмотрены перспективы применения биотоплива как альтернативного топлива для судовых дизелей. Представлены результаты анализа применяемых технологий для производства биодизеля. Обоснована целесообразность использования гидродинамического смесителя в качестве устройства, обеспечивающего интенсивность протекания реакции переэтерификации при производстве биодизеля. Разработана технологическая схема лабораторной установки для производства биодизеля. Представлены результаты лабораторных исследований по определению оптимального материального баланса реакции переэтерификации для производства биодизеля на установке, оснащенной гидродинамическим смесителем. Определены основные показатели реакции переэтерификации (вязкость, температура вспышки, высота осадка) для установки, оснащенной гидродинамическим смесителем. Установлено оптимальное массовое соотношение реакции переэтерификации, что обеспечивает наилучшие качественные показатели получаемого биодизеля и позволяет оценить эффективность применяемого в установке гидродинамического смесителя. Даны рекомендации по соотношению растительного масла и метанола при производстве биодизеля. Наилучшим соотношением масло/метанол, с точки зрения выхода биодизеля и его качества, является соотношение 7.5:1. Использование традиционного нефтяного топлива в смеси с биодизелем можно рассматривать как эффективный способ уменьшения загрязнения воздуха морскими судами и обеспечения соблюдения правил международной морской организации.

Ключевые слова: Биотопливо, биодизель, растительное масло, гидродинамический смеситель, реакция переэтерификации, дизельное топливо, судовый двигатель, водный транспорт

PRODUCTION OF BIOFUEL COMPONENTS FOR MARINE POWER PLANTS

A.V. Gromakov, A.V. Fil

The article discusses the prospects for the use of biofuels as an alternative fuel for marine diesel engines. The results of the analysis of applied technologies for the production of biodiesel are presented. The expediency of using a hydrodynamic mixer as a device that ensures the intensity of the transesterification reaction in the production of biodiesel is substantiated. A technological scheme of a laboratory plant for the production of biodiesel has been developed. The results of laboratory studies to determine the optimal material balance of the transesterification reaction for the production of biodiesel in a plant equipped with a hydrodynamic mixer are presented. The main indicators of the transesterification reaction (viscosity, flash point, sediment height) for a plant equipped with a hydrodynamic mixer have been determined. The optimal mass ratio of the transesterification reaction has been established, which ensures the best quality indicators of the resulting biodiesel and allows evaluating the efficiency of the hydrodynamic mixer used in the plant. Recommendations are given on the ratio of vegetable oil and methanol in the production of biodiesel. The best oil/methanol ratio, in terms of biodiesel yield and quality, is 7.5:1. The use of traditional petroleum fuels mixed with biodiesel can be seen as an effective way to reduce air pollution from ships and ensure compliance with the rules of the International Maritime Organization.

Keywords: Biofuel, biodiesel, vegetable oil, hydrodynamic mixer, transesterification reaction, diesel fuel, marine engine, water transport

1. Введение

Нестабильные и непредсказуемые цены на нефть и газ, экологические проблемы стимулируют судоходные компании проявлять практический интерес к использованию моторного топлива из растительного сырья, как частичного и даже

полного заменителя традиционного минерального топлива. Наиболее перспективным направлением на водном транспорте является использование для дизельных двигателей биотоплива на основе растительных масел. Биотопливо – продукт, получаемый в результате смешивания дизельного топлива

и метилового эфира растительного масла (МЭРМ) или биодизеля [1, 2].

Биодизель получают из растительных масел в результате реакции переэтерификации при добавлении метилового спирта и KOH.

Наибольшее распространение получила классическая технология приготовления биодизеля (рисунок 1), применяемая во всем мире при извлечении жирных кислот. К сожалению, она трудо- и энергоемкая, а потому малорентабельна. Чтобы получить биодизель, необходимо в специальных реакторах смешать растительное масло с метиловым спиртом и добавить катализатор (обычно NaOH или KOH). Смесь нагревают до

температуры 60°C, после отстаивают и образуется МЭРМ, а также побочные продукты, например глицерин [3, 4].

Реакция получения МЭРМ зависит от качества исходного сырья. Она проходит при избытке метилового спирта. Этот избыток приводит к омылению полученного продукта, который затем нужно промывать водой, чтобы удалить все примеси. В частности, снижаются излишки спирта, температура вспышки МЭРМ, от чего топливо получается низкокачественным. В итоге приходится рекуперировать метаном, а затем «сушить» биодизель. Для этого требуется дополнительная установка вакуумной сушки, и соответственно возникает необходимость утилизировать использованную воду или сорбент.

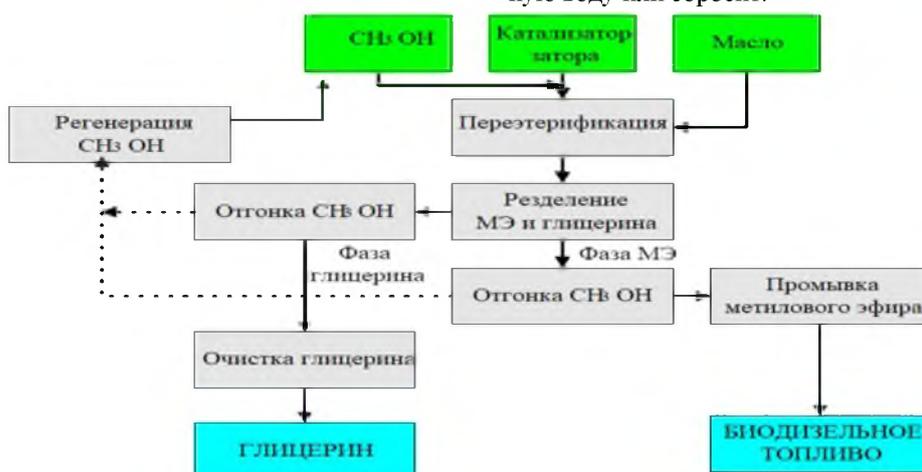


Рисунок 1 – Схема производства биодизеля

Чтобы избежать реакции полимеризации, а также других побочных реакций, необходимо поддерживать оптимальные условия реакции: порядок подачи реагентов, температуру, концентрацию NaOH или KOH в метаноле и время реакции. Также важно обеспечить качественное перемешивание в реакторе, начиная с момента подачи в него реагентов. Для получения гомогенной смеси необходимо использовать специальные смесители, функционирование которых основывается на гидродинамическом воздействии на компоненты реакции – растительное масло и метиловый спирт. Наиболее предпочтительным смешивающим устройством является гидродинамический смеситель эжекторного типа. Применение гидродинамических смесителей позволяет более точно поддерживать стехиометрический состав по метиловому спирту и минимальному объему в реакционной среде [5].

2. Материалы и методы

Целью экспериментальных исследований является определение оптимального соотноше-

ния метанола и растительного масла (PM), которое обеспечит наибольший выход биодизеля и температуру вспышки, при наименьшем значении кинематической вязкости.

Общий вид лабораторной установки для производства биодизеля представлен на рисунке 2.



Рисунок 2 – Лабораторная установка для производства биодизеля

Технологическая схема лабораторной установки представлена на рисунке 3.

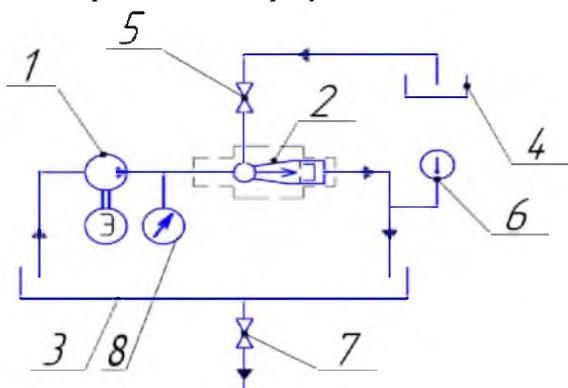


Рисунок 3. Технологическая схема лабораторной установки: 1 – насос; 2 – гидродинамический смеситель; 3 – ёмкость для масла; 4 – ёмкость для спиртового раствора; 5, 7 – краны; 6 – датчик температуры; 8 – манометр

Плотность масла и биодобавки измеряли с помощью ареометров АНТ-2, АОН-2, АСП-2 с ценой деления 0,001г/см³, кинематическая вязкость – вискозиметром капиллярным стеклянным ВПЖ-4.

Расчётное количество растительного масла, предварительно нагретое до температуры 550С заливается в ёмкость 3. Установка переводится в режим «циркуляция» включением насоса 1. Происходит дополнительный нагрев масла за счёт дросселирования в гидравлическом смесителе 2. При достижении температуры растительного масла 600С установка переводится в режим работы «введение алкоголятора», который подается в определенном количестве. Далее осуществляется циркуляция компанентов в течении 3 минут, а затем отстаивание смеси в течение 40 минут. В течение этого времени происходит разделение рабочей жидкости в следствие реакции переэтерификации. Верхний слой – биодизель, нижний слой – глицериносодержащая фракция. Далее глицериновая фракция сливается через кран 7 и утилизируется.

Анализ полученных данных предполагает определение оптимального массового соотноше-

ния масло/метанол, применяемого при производстве биодизеля (МЭРМ) на установке, оснащенной гидродинамическим смесителем [6].

3. Определение оптимального соотношения метанола и растительного масла при производстве биодизеля

Для получения биодизеля в наибольшем количестве с повышенной температурой вспышки (более 110°С) и наименьшем значении кинематической вязкости необходимо установить оптимальный материальный баланс компонентов, применяемых при производстве биодизеля, с учетом используемого оборудования. Интенсивность протекания реакции переэтерификации, основной реакции технологического процесса получения биодизеля, регулируется рабочим процессом смесителя. В настоящее время предпочтительны гидродинамические смесители. Однако, отсутствуют рекомендации по составлению оптимального соотношения компонентов реакции.

Целью экспериментальных исследований является определение оптимального соотношения, включающего количество метилового спирта, катализатора – КОН и растительного масла, обеспечивающего наибольший выход биодизеля и температуру вспышки (более 110°С), при наименьшем значении кинематической вязкости.

Анализ полученных данных предполагает определение оптимального массового соотношения РМ/метанол, применяемого при производстве биодизеля (МЭРМ), и эффективности применяемого в установке гидродинамического смесителя.

Из-за отсутствия отечественных стандартов на подобный вид продукции, полученный биодизель сравнивался на соответствие с зарубежными национальными стандартами на биодизельное топливо – ONC1191 (Австрия), DINV 51606 (Германия), UNI 10635 (Италия), CSN656507 (Чехия), SS 155436 (Швеция), JournalOfficial (Франция).

Результаты исследований представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Результаты лабораторных опытов

Соотношение по массе масло: метанол	Масса, кг			Вязкость, мм ² /с при 40°С	Температура вспышки, °С	Высота осадка, мм
	масло	метанол	КОН			
6 : 1	9.17	1.506	0.0917	4.690	35	55.7
7 : 1	9.17	1.310	0.0917	4.707	35	57.5
7,5 : 1	9.17	1.220	0.0917	5.603	38	53.9
8 : 1	9.17	1.146	0.0917	5.612	40	85.0
9 : 1	9.17	1.019	0.0917	5.648	42	110.0

При соотношении РМ/метанол в пределах 6:1 и 7:1 было получено наименьшее значение кинематической вязкости МЭРМ, но при этом наблюдалось наименьшее значение температуры вспышки (рисунок 4), что недопустимо. Совпадение двух этих фактов позволяет сделать вывод о наличии в продукте остаточного метанола, не вступившего в реакцию. Кроме того, отмечается плохая визуальная прозрачность продукта (рисунок 5). Несмотря на удовлетворительное значение такого показателя как высота осадка (рисунок 6), он не оказывает существенного воздействия на принятие решения из-за низкого качества полученного продукта. Следовательно, при вышеуказанных соотношениях РМ/метанол, для установки, в которой используется гидродинамический смеситель, назначенная концентрация метанола является избыточной.

При соотношениях РМ/метанол в пределах 8:1 и 9:1 вязкость имеет максимальное значение (рисунок 4). Она не превышает предельно допустимые показатели для биодизельных топлив согласно CSN656507 (Чехия), но приближается к максимально допустимым значениям нормативных документов других стран и не соответствует DIN V 51606 (Германия), который на сегодняшний день предъявляет самые жесткие требования к биодизельному топливу.

Температура вспышки, при соотношениях РМ/метанол в пределах 8:1 и 9:1, достигает максимального значения из всей серии опытов (рисунок 4), что благоприятно сказывается на качестве полученного биодизеля. О качестве можно косвенно судить и по внешнему виду биодизеля (рисунок 5).

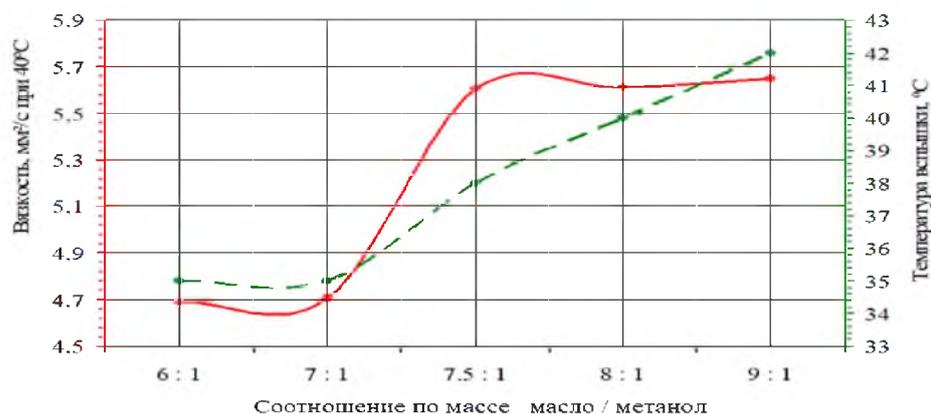


Рисунок 4 – Зависимость вязкости и температуры вспышки от содержания метилового спирта

Однако образовавшийся в этих опытах осадок, и особенно его консистенция и количество (рисунок 6), указывают на то, что не удалось избежать реакции полимеризации и других побочных реакций, так как нарушены оптимальные условия реакции переэтерификации и часть масла

не вступила в реакцию. Высота осадка после отстаивания обратно пропорциональна практическому выходу готового продукта, поэтому, при соотношении РМ/метанол 9:1, выход биодизеля наименьший для данной установки (рисунок 6 и рисунок 7).



Рисунок 5 – Прозрачность МЭРМ в зависимости от различного соотношения по массе «масло/метанол»



Рисунок 6 – Высота осадка после отстаивания при различном соотношении по массе «масло/метанол»

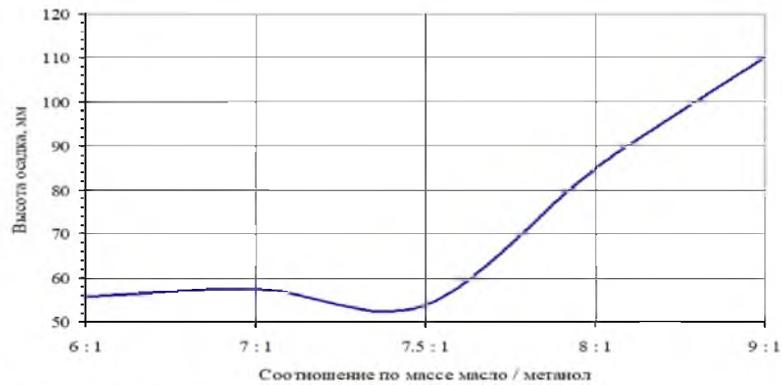


Рисунок 7 – Зависимость высоты осадка от содержания метилового спирта

При соотношении масло/метанол 7.5:1, наилучшие показатели по кинематической вязкости и температуре вспышки (рисунок 4). Также в опыте с этим соотношением выявлено наименьшее значение высоты осадка, следовательно практический выход биодизеля при соотношении 7.5:1 является максимальным из всей серии опытов. При указанном соотношении продукт имеет удовлетворительный внешний вид и прозрачность. Причем соотношение 7.5:1 является предельно допустимым по этому признаку, что следует из рисунка 6.

В результате проведенных экспериментальных исследований установлено, что для установки, оборудованной гидродинамическим смесителем, оптимальное соотношение масло/метанол составляет 7.5:1.

Выводы

В результате проведенных исследований была представлена технология получения биодобавки (МЭРМ) к дизельному топливу. Определены основные показатели реакции переэтерификации для установки, оснащенной гидродинамическим смесителем. Наилучшим соотношением масло/метанол, с точки зрения выхода биодизеля и его качества, является соотношение 7.5:1. Использование традиционного нефтяного топлива в смеси с биодобавками можно рассматривать как эффективный способ уменьшения загрязнения воздуха морскими судами и обеспечения соблюдения правил ИМО.

Литература

1. Kesime U.K., Pazouki K., Murphy A. and Chrysanthou A. Biofuel as alternative shipping fuel: technology, environmental and economic assessment. *Sustainable Energy Fuels*, 2019, 3: 899-909.
2. Таманджа, И. Перспективы и обоснование использования биодизеля в судовых дизельных установках / И. Таманджа, Н. Н. Шуйтасов // Вестник АГТУ. Сер.: Морская техника и технология. – 2010. – № 1. – С. 158-166.

3. C.-Y. Lin. Strategies for promoting biodiesel use in marine vessels. *Marine Policy* 2013;40:84–90.
4. Громаков А.В. Перспективы биотоплива, как топлива для судовых дизелей / А.В. Громаков, А.В. Филь // Эксплуатация морского транспорта. – 2019. – № 4 (93). – С. 53-59.
5. Богданович В.П. Растительное масло – сырье для моторного топлива / В.П. Богданович, А.В. Громаков, С.И. Бырько // Сельский механизатор. – 2010. – № 11. – С. 30-11.
6. Бырько С.И. Совершенствование технологии получения биодобавки к дизельному топливу/С.И. Бырько// *Агроинженерная наука в сфере АПК: инновации, достижения: Сб. науч. тр. 7-й Междунар. науч.-практ. конф. «Агроинженерная наука в повышении энергоэффективности АПК»* (г. Зерноград, ГНУ СКНИИМЭСХ Россельхозакадемии, 11-12 апреля 2012 г.) –Зерноград, 2012. –С. 34-38.
7. Каракаев А.Б. Разработка методологии, методов и моделей анализа влияния различных вариантов построения структуры и режимов поддержания и восстановления работоспособности судовых электроэнергетических систем (Часть 1) [Текст] / А.Б. Каракаев, А.В. Луканин, Е.В. Хекерт//*Эксплуатация морского транспорта.*– 2016.– № 3 (80).– С. 54-60.
8. Кондратьев С.И. Методы вычисления характеристических полиномов в задачах управления подвижных объектов: учебное пособие / С. И. Кондратьев, Г. А. Зеленков.– Новороссийск: Федеральное гос. образовательное учреждение высш. проф. образования "Морская гос. акад. им. адмирала Ф. Ф. Ушакова", 2007

References

1. Kesime U.K., Pazouki K., Murphy A. and Chrysanthou A. Biofuel as alternative shipping fuel: technology, environmental and economic assessment. *Sustainable Energy Fuels*, 2019, 3: 899-909.
2. Tamandzha, I. Perspektivy i obosnovanie ispol'zovaniya biodizelya v sudovykh di-zel'nykh ustanovkakh / I. Tamandzha, N. N. SHujtasov // *Vestnik AGTU. Ser.: Morskaya tekhnika i tekhnologiya.* – 2010. – № 1. – С. 158-166.

3. C.-Y. Lin. Strategies for promoting biodiesel use in marine vessels. *Marine Policy* 2013;40:84–90.
4. Gromakov A.V. Perspektivy biotopliva, kak topliva dlya sudovykh dizelej / A.V. Gromakov, A.V. Fil' // *EHkspluatatsiya morskogo transporta*. – 2019. – № 4 (93). – S. 53-59.
5. Bogdanovich V.P. Vegetable oil as a raw material for motor fuel / V.P. Bogdanovich, A.V. Gromakov, S.I. Byrko // *Rural mechanic*. – 2010. – No. 11. – S. 30.11.
6. Byrko S.I. Improving the technology for obtaining bioadditives for diesel fuel / S.I. Byrko // *Agroengineering science in the field of agro-industrial complex: innovations, achievements: Sat. scientific tr. 7th Intern. scientific-practical. conf. "Agroengineering science in increasing the energy efficiency of the agro-industrial complex"* (Zernograd, State Scientific Institution SKNIIMESH of the Russian Agricultural Academy, April 11-12, 2012) – Zernograd, 2012. – S. 34-38.
7. Karakaev A.B. Razrabotka metodologii, metodov i modelej analiza vliyaniya raz-lichnykh variantov postroeniya struktury i rezhimov podderzhaniya i vosstanovleniya rabotosposobnosti sudovykh elektroenergeticheskikh sistem (CHast' 1) [Tekst] / A.B. Karakaev, A.V. Lukanin, E.V. Hekert// *Ekspluatatsiya morskogo transporta*. 2016. № 3 (80). S. 54-60.
8. Kondrat'ev S.I. Metody vychisleniya harakteristicheskikh polinomov v zadachah upravleniya podvizhnykh ob'ektov. Uchebnoe posobie / S. I. Kondrat'ev, G. A. Ze-lenkov // *Federal'noe gos. obrazovatel'noe uchrezhdenie vyssh. prof. obrazova-niya "Morskaya gos. akad. im. admirala F. F. Ushakova"*. Novorossiysk, 2007

УДК 629.54

DOI: 10.34046/aumsuomt105/21

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ СУДОВЫХ ЛЬЯЛЬНЫХ ВОД

И.Г. Берёза, доктор технических наук, профессор

Е.И. Шацкова, аспирант

Т.А. Волкова, кандидат технических наук, доцент

Для дестабилизации мелкодисперсных нефтеводных эмульсий и, как следствие, повышения эффективности флотационной очистки судовых льяльных вод применяют метод реагентной обработки. К лимитирующим факторам при выборе флокулянта для предварительной реагентной обработки льяльных вод следует отнести физико-химические характеристики нефтеводного раствора. В работе приведены результаты исследования следующих физико-химических показателей раствора судовых льяльных вод: дисперсный состав загрязнений, заряд частиц загрязнений, кинематическая вязкость, плотность и поверхностное натяжение раствора.

Ключевые слова: судовые льяльные воды, дисперсный состав загрязнений, реологические свойства.

PHYSICAL AND CHEMICAL INDICATORS SHIP BILGE WATER

I. G. Beryoza, T. A. Volkova

To destabilize finely dispersed oil-water emulsions and, as a result, to increase the efficiency of flotation treatment of ship bilge water, a reagent treatment method is used. The limiting factors in choosing a flocculant for preliminary reagent treatment of bilge waters should include the physicochemical characteristics of the oil-water solution. The paper presents the results of a study of the following physicochemical parameters of a solution of ship's bilge waters: the dispersed composition of contaminants, the charge of contaminant particles, kinematic viscosity, density and surface tension of the solution.

Key words: ship bilge water, dispersed composition of contaminants, rheological properties

Эффективность физико-химических методов очистки судовых льяльных вод зависит, в первую очередь, от свойств дисперсной системы «нефть – вода», в которой дисперсной фазой являются нефтепродукты, а дисперсионной средой – вода. К общим свойствам эмульсий, как известно, относятся такие характеристики, как дисперсный состав загрязнений, наличие развитой поверхности раздела фаз, наличие электрокинетического потенциала на поверхности раздела, сольватация частиц, которые определяют агрегативную устойчивость дисперсной системы [1].

При разработке технологии флотационной очистки судовых льяльных вод, предварительно дестабилизированных флокулянтами, на первом этапе исследований анализировались следующие физико-химические показатели нефтеводного раствора: дисперсный состав загрязнений, заряд частиц загрязнений, кинематическая вязкость, плотность и поверхностное натяжение раствора.

Исследования проводились на судовых льяльных водах, доставленных на нефтеперерабочную базу ПАО «Транснефть» судами-сборщиками (г. Новороссийск).