

Раздел 3 СУДОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ, СИСТЕМЫ И УСТРОЙСТВА

УДК 621.431.74: 662.756.3
DOI: 10.34046/aumsuomt99/13

ТЕХНИЧЕСКИЕ И ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ ВОПРОСЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БИОДИЗЕЛЯ НА ВОДНОМ ТРАНСПОРТЕ

А.В. Громаков, кандидат технических наук, доцент

А.В. Филь, кандидат технических наук, доцент

В статье рассмотрены особенности использования биодизеля на водном транспорте. Приведены преимущества и недостатки биодизеля по сравнению нефтяным дизельным топливом. Проанализировано влияние состава биодизеля на его свойства. Рассмотрены вопросы, решение которых позволит широко использовать биодизель. Обоснована необходимость защиты биодизеля от попадания воды. Приведены рекомендации по обеспечению стабильности биодизеля при хранении и его совместимости с различными конструкционными материалами. Сделаны выводы о возможности исключения негативных факторов и успешного применения биодизеля в качестве альтернативного судового топлива.

Ключевые слова: судовые двигатели, топливная система, биодизель, хранение, перевозка, конструкционные материалы, совместимость

TECHNICAL AND ORGANIZATIONAL ISSUES OF THE USE OF BIODIESEL IN WATER TRANSPORT

A.V. Gromakov, A.V. Film

The article discusses the features of the use of biodiesel in water transport. The advantages and disadvantages of biodiesel compared to petroleum diesel fuel are given. The influence of biodiesel composition on its properties is analyzed. The issues that will allow the widespread use of biodiesel are considered. The necessity of protecting biodiesel from water ingress is justified. Recommendations on the stability of biodiesel during storage and its compatibility with various structural materials are given. Conclusions are made about the possibility of eliminating negative factors and the successful use of biodiesel as an alternative marine fuel.

Keywords: marine engines, fuel system, biodiesel, storage, transportation, structural materials, compatibility

1. Введение

Практика использования биотоплива на водном транспорте является относительно новой и недостаточно освещенной в литературе. Многие исследования посвящены использованию биотоплива для наземных перевозок. Однако существуют важные отличия наземного транспорта от водного. Топливо, используемое в настоящее время в судовых дизельных двигателях, отличается от топлива, используемого для наземных транспортных средств. Различаются также конструкции двигателей, существующая инфраструктура и условия хранения топлива.

Биодизель (далее – БД), получаемый путем переэтерификации различных видов растительного масла, реже - животных жиров (рисунок 1), оказался наиболее приемлемым возобновляемым источником энергии для дизельных двигателей транспортных средств [1]. Пригодность БД обусловлена его высоким энергосодержанием, химическим составом и высоким цетановым числом,

что весьма подходит для работы мало- и среднеоборотных судовых дизельных двигателей.

Производство и потребление БД в мире за последние годы значительно возросло (рисунок 2), ведущим производителем БД остаются США [2], к сожалению, России в этом списке нет.



Рисунок 1 – Структура сырья для получения биодизеля в мире на 2018 г.

Сходные физико-химические свойства БД и нефтяного дизельного топлива (далее – НДТ),

позволяющие принять его без существенной модификации дизельного двигателя, гибкость производства из широкого спектра сырья, экологичность и ряд других преимуществ перед НДТ (таблица 1) повлияли на его принятие в качестве альтернативы НДТ [3, 4, 5].

Хотя БД можно использовать в качестве дизельного топлива в чистом виде, его чаще применяют в виде смеси с обычным НДТ. Стандарты D6751 ASTM и ГОСТ 33131-2014 «Смеси биодизельного топлива (B6-B20). Технические требования» дают систему обозначений смесей БД/ НДТ.

Чистый (т.е. 100% биодизель) обозначается как B100, также используют смеси B5 (5% биодизеля и 95% НДТ), B7 (Евростандарт EN 590 для дизельного топлива) и B20 (с максимальным на данный момент соотношением).

В таблице 2 приведены топливные характеристики различных видов БД в сравнении с характеристиками судового топлива MDO / MGO (по стандарту ISO 8217: 2017).

БД может иметь разный состав метиловых эфиров жирных кислот, который зависит от вида сырья, используемого для его получения (таблица 3).

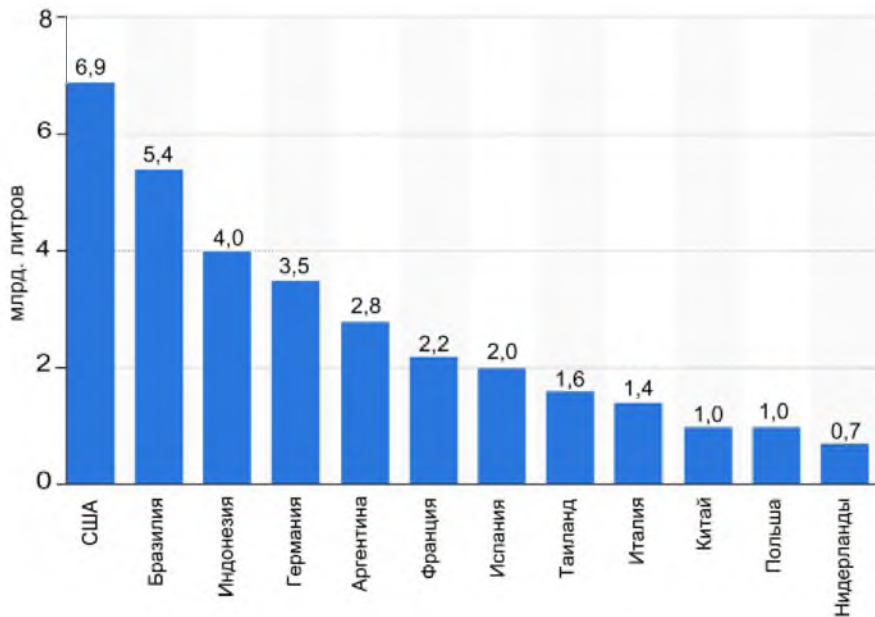


Рисунок 2 – Ведущие производители биодизеля в мире на 2018 г.

Таблица 1 – Преимущества и недостатки биодизеля по сравнению НДТ

Преимущества	Недостатки
Снижает потребление сырой нефти	Более высокая цена, чем НДТ
Снижение выбросов CO ₂ , C _x H _x , SO _x	Может привести к ухудшению качества контактирующих с ним конструкционных материалов
Более высокое цетановое число, температура вспышки и смазочные свойства, чем у НДТ	Может привести к образованию осадка и росту микроорганизмов
Возможность более чистого сгорания благодаря более высокому содержанию кислорода, чем у НДТ	Может вызвать засорение топливного фильтра и загрязнению форсунок. Устойчивость к окислению топлива у него ниже, чем у НДТ Попадание в моторное масло (его разжижение) Более низкая теплотворная способность, чем у НДТ, что приводит к снижению мощности и крутящего момента.

Таблица 2 – Топливные характеристики биодизелей и морского дизельного топлива

Показатели	Виды топлива				
	пальмовый биодизель	рапсовый биодизель	соевый биодизель	топливо MDO ISO 8217	топливо MGO ISO 8217
Теплотворная способность, МДж/кг	37-38	38	39-40	42	-
Плотность при 15°C, кг/м ³	865-870	880-890	884	<900	<890
Температура вспышки, °C	135	147-170	141-167	>60	>60
Температура застывания, °C	от +14 до +16	-21	от -7 до -1	от 0 до +6	от 0 до +6
Кинематическая вязкость, мм ² /с	4,1-5,2	3,6-5,1	3,92-4,65	2-11	2-6
Цетановое число	59-65,2	48-50	45-46	>40	>35

Таблица 3 – Состав биодизелей из различных растительных масел

Эфиры	Содержание в биодизеле из различных масел, %				
	пальмового	рапсового	соевого	подсолнечного	арахисового
Насыщенные эфиры	46,7-50,4	5,8-6,2	15,5-16,7	13,4	19,1
Моно- и полиненасыщенные эфиры	46,5	89,4-94,0	83,1-83,5	89,5	81,4

Биодизели, включающие большую долю насыщенных метиловых эфиров, например, полученные из пальмового масла, обычно относительно стабильны к процессам разложения, но ухудшают свои характеристики при низких температурах (застывают уже при плюсовых температурах). Биодизели, включающие большую долю ненасыщенных метиловых эфиров, например, полученные из рапсового масла (МЭРМ), будут менее устойчивыми к реакциям разложения, но иметь лучшие низкотемпературные показатели (застывают значительно ниже нуля) [4-6].

Низкотемпературные свойства БД необходимо учитывать на морских судах с обширными районами плавания. Так, судно может бункероваться в порту с теплым климатом топливом, свойства которого соответствуют данной местности, а затем совершить переход в район с холодным климатом, где могут проявиться такие показатели БД, как высокая температура застывания, помутнения и т.п.

Исходя из приведенных данных, можно сделать вывод, что БД является топливом, наиболее близким по характеристикам к судовым топливам MDO/MGO. БД должен иметь возможность использовать ту же инфраструктуру поставки и хранения, что и НДТ: судовые системы, в том числе топливные, топливные терминалы (хранилища), бункеровочные суда и другие. Существует, однако, ряд технических и организационных вопросов, без решения которых нельзя рассчитывать на широкое использование БД на водном транспорте. Рассмотрим некоторые из них.

2. Проблемы загрязнения биодизеля водой

Важной проблемой при перевозке и бункеровке БД является загрязнение его водой. БД – гигроскопичный продукт, который поглощает воду из окружающей среды. Исследования [6, 7] показали, что БД до 30 раз более гигроскопичен, чем обычное НДТ. Добавление БД к НДТ также увеличивает водоудерживающую способность полученной смеси.

Потенциальные источники загрязнения БД водой на судах варьируются от прямых попаданий в него морской / речной воды (например, через вентиляционные отверстия цистерн во время

штормовой погоды) или остатков от операций промывки топливных танков, до менее значительных поступлений влаги при их заполнении инертным газом (например, при нарушениях в системе инертных газов), или высокой влажности воздуха в неинертизованных танках. Влажный воздух, который поступает в топливные танки во дыхания, может привести к конденсации воды в танке когда температура окружающей среды достигнет точки росы. Это может быть серьезной проблемой в регионах с высокой влажностью: чем выше влажность воздуха, тем быстрее БД поглощает воду из воздуха.

Максимально допустимое содержание воды в БД согласно стандартам ЕС EN 14214, ГОСТ Р 53605-2009 и ASTM D6751 составляет 500 мг/кг.

В отличие от НДТ, в которых любая попадающая вода в течение времени обычно осаждается, БД может удерживать воду в виде эмульсии на достаточно высоком уровне (более 1 г/кг). Помимо того, что это делает БД нестандартным по содержанию воды, её присутствие может способствовать гидролитическим реакциям разложения БД с образованием свободных жирных кислот, которые не только повышают кислотность БД, но также могут воздействовать на открытые металлические поверхности.

Практически все судовые топливные танки и цистерны потенциально склонны к образованию них эмульсии. Эмульсионный слой может забивать топливные фильтры, форсунки и повреждать детали двигателя, поэтому необходимо применять технологии и устройства для удаления эмульсии с поверхностей резервуаров и трубопроводов.

После достижения определенного уровня содержания, вода может выделяться из эмульсии, образуя потенциально коррозионную фазу свободной воды. Возможность разделения фаз для смесей ДТ – более высокая.

В большинстве исследований по БД высокая степень биоразлагаемости БД при ликвидации последствий разливов в водной среде отмечается в качестве положительного фактора [3, 5]. Но это также означает, что БД более подвержен микробиологическому воздействию, чем обычное НДТ.

Появление границы раздела БД-вода обеспечивает благоприятные условия для нежелательного роста микроорганизмов (грибков и бактерий), что может привести к забиванию топливных фильтров и коррозии материалов.

Поэтому необходимо обеспечить удаление воды из топливных цистерн (должны быть предусмотрены устройства для регулярного слива воды), а танкерам и бункеровщикам перевозить партии БД в инертизированных танках (несмотря на более высокую температуру вспышки БД, чем у НДТ), чтобы избежать возможного поглощения влаги.

3. Проблемы стабильности и хранения биодизеля

Стабильность БД можно рассматривать с двух точек зрения:

- стабильность при хранении (старение, деградация);
- стабильность при повышенных температурах и/или давлениях (БД рециркулирует в топливной системе двигателя).

Известно, что и традиционное НДТ при хранении окисляется и полимеризуется, продукты полимеризации и окисления коагулируют с выпадением осадков. В результате качество НДТ ухудшается: увеличивается кислотность, НДТ темнеет, из-за развития процессов полимеризации и коагуляции в нём растет содержание смолистых веществ и механических примесей.

Сходные процессы происходят при хранении и в БД, однако они имеют свои особенности. Основными проблемами при хранении биодизеля

также являются окисление и полимеризация [8-10]. Из-за этого БД повышает свое кислотное число и образует смолистые осадки, которые могут засорить топливные фильтры и другие элементы топливной системы (далее – ТС). Меньшая стабильность БД объясняется более высокой долей ненасыщенных углеводов в его составе по сравнению с НДТ [3, 5, 7].

Биодизель начинает окисляться, как только он вступает в контакт с воздухом. Это может происходить во время транспортировки, хранения на берегу или судне, в процессе использования в двигателе. На процесс окисления влияют такие факторы, как его состав, освещенность, температура, присутствие металлов, площадь контакта с воздухом.

Все биодизели, как правило, имеют большее кислотное число, чем традиционные морские НДТ. При этом биодизельные топлива, имеющие более высокую долю ненасыщенных метиловых эфиров, более склонны к окислению при длительном хранении.

Например, кислотное число БД (В100), полученного из рапсового масла (МЭРМ), находящегося в течение 15 месяцев в стальной цистерне со свободным доступом воздуха, возросло более чем в 3 раза, в то время как в полиэтиленовом резервуаре осталось в пределах стандарта (около 0,5 мг КОН/г) [10]. Таким образом, присутствие в смеси катионов железа ускоряет как процесс окисления, так и процесс полимеризации (рисунок 3).

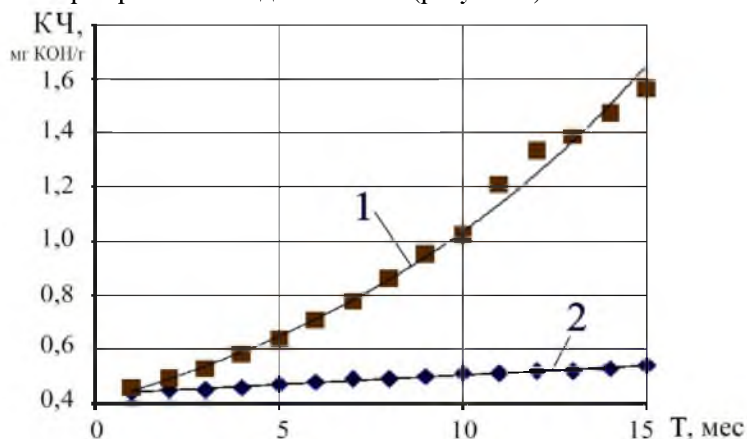


Рисунок 3 – Изменение кислотного числа БД при хранении: 1 – в стальной цистерне, 2 – в полиэтиленовом резервуаре

Было установлено ускорение реакции разложения БД (особенно для В100) в присутствии микрочастиц и других металлов (медные змеевики подогревателя или цинковые покрытия танков).

Во избежание ухудшения качества БД, срок хранения его в стальных цистернах/танках

без специальных покрытий (например, применяемых на химовозах) не должен превышать 6 месяцев (по некоторым данным – 10 месяцев).

Условия хранения также влияют на стабильность биодизельного топлива. Установлено, что воздействие солнечного света и свободный

доступ атмосферного воздуха ускоряют ухудшение свойств БД при хранении. Высокие температуры хранения также ускоряют разложение топлива, например, если партии БД перевозятся рядом с нагретыми танками, в частности отстойниками [11]. Биодизель может начать разлагаться из-за контакта с водой и/или микробиологической активности. Во время хранения БД воздействие этих факторов должно быть сведено к минимуму.

Для смесей биодизеля до В20 могут использоваться стандартные условия хранения, принятые для НДТ [12].

Стабильность БД при хранении на борту судна существенно зависит от размера судна, характера перевозок и возможностей топливной системы. Крупные морские суда имеют цистерны для хранения топлива большой вместимости (до 3-4 тыс. т) и могут хранить топливо на борту в течение длительного времени. Крупные суда также, как правило, имеют большее количество топливных цистерн и имеют технические возможности для изоляции от системы тех цистерн, в которых находится топливо с ухудшенным качеством. Они также имеют техническую возможность лучшей очистки и подготовки топлива перед подачей в двигатель.

Малые суда, с другой стороны, имеют большую оборачиваемость топлива и меньший срок его хранения. Однако у них имеется недостаточно топливных цистерн, чтобы изолировать проблемное топливо, их оборудование, как правило, позволяет только фильтровать топливо и отделять воду.

Для хранения БД на берегу желательно подземное или изотермическое хранение (во избежание перепадов температур), наземные резервуары должны иметь светоотражающее покрытие. Целесообразны резервуары с плавающей крышей или инертзация незаполненного пространства. Резервуары с неподвижной крышей должны быть максимально заполненными, чтобы ограничить поступление кислорода и дыхание БД в резервуаре.

3. Совместимость биотоплива с конструкционными материалами

3. Совместимость биотоплива с конструкционными материалами

Основные элементы ТС, с которыми взаимодействует биодизель на пути от хранилища до форсунки судового двигателя, приведены на рисунке 4. На нем не обозначены такие изделия как фитинги, прокладки и т.п., присутствующие практически во всех указанных элементах.

Указанные элементы судовой ТС изготавливаются из различных конструкционных материалов (далее – МТС): черных и цветных металлов, неметаллов, эластомеров и прочих (таблица 4). БД вступает в контакт с различными элементами этой ТС при различной температуре, давлении, скорости, физическом состоянии. Так как по химическому составу БД отличается от традиционного НДТ, то различные МТС могут быть менее совместимыми с БД, чем с НДТ.

Имеется ряд исследований, касающихся совместимости биодизеля с МТС [12-18].

При длительном воздействии БД (особенно, при В100) и определенных условиях это может проявляться в окислении, коррозии, износе металлов, набухании, размягчении и разложении эластомеров и полимеров, нарушении уплотнений, растворении некоторых видов покрытий и красок и т.п.

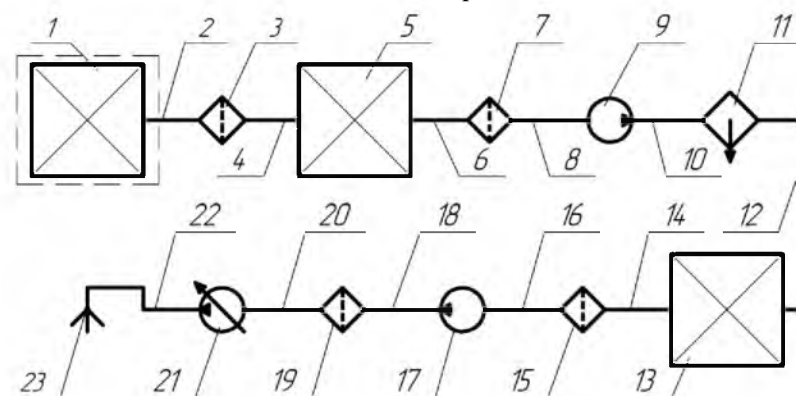


Рисунок 4 – Основные элементы топливной системы, с которыми взаимодействует биодизель:

- 1 - топливный танк бункеровщика / резервуар нефтебазы; 2 - грузовой шланг; 3 - фильтр грубой очистки (ФГО); 4 - топливопровод; 5 - цистерна основного запаса; 6 - топливопровод; 7 - ФГО; 8 - топливопровод; 9 - насос топливоперекачивающий; 10 - топливопровод; 11 - сепараторы (пурификатор и/или кларификатор); 12 - топливопровод; 13 - расходная цистерна; 14 - топливопровод; 15 - ФГО; 16 - топливопровод; 17 - насос топливоподкачивающий; 18 - топливопровод; 19 - фильтр тонкой очистки; 20 - топливопровод; 21 - ТНВД; 22 - топливопровод; 23 - форсунка

Таблица 4 – Основные конструкционные материалы, используемые в топливной системе судовых двигателей

Элементы	Конструкционные материалы
Топливные танки (цистерны)	Сталь углеродистая, полимеры (покрытие), цинк (покрытие)
Шланги	Эластомеры
Топливные насосы	Сталь углеродистая, медные сплавы, алюминиевые сплавы
Топливопроводы	Сталь углеродистая, медные сплавы
Фильтры	Алюминиевые сплавы, полимеры, бумага
Сепараторы	Сталь углеродистая, сталь нержавеющая, медные сплавы, алюминиевые сплавы, эластомеры
Форсунки	Сталь углеродистая
Фитинги и прокладки	Медные сплавы, эластомер, бумага, пробка

Среди металлов самую высокую устойчивость к воздействию БД показали углеродистая и нержавеющая стали, алюминий и его сплавы, самую низкую - медь и её сплавы. Металлы подвергаются коррозии в результате химического и электрохимического воздействия.

Биодизель В100 может храниться в тех же топливных цистернах, что и НДТ, т.к. они обычно изготовлены из углеродистой стали. Но их детали из цветных металлов (олова, латуни, меди, бронзы и цинка) могут плохо подходить к БД из-за окисления этих металлов. В результате таких химических реакций в них могут выпадать нерастворимые осадки и образовываться гели, что может привести к забиванию топливных фильтров, изменению цвета топлива и коррозии стенок резервуаров. Следовательно, покрытия, топливопроводы, фитинги, регуляторы, прокладки и т.п. не следует изготавливать из таких металлов.

Длительный контакт чистого биодизеля (В100) и смесей с высоким содержанием БД с деталями из некоторых видов эластомеров, резины, полимерных материалов в ТС (шланги, клапаны, фильтры, уплотнения и т.п.), может привести к ухудшению качества материала, их размягчению, разбеданию и/или разложению. Результатами могут стать утечки в топливопроводах, разрушения уплотнений и прокладок, разрывы шлангов.

Например, полиуретан, поливинилхлорид, полиэтилен, полипропилен, некоторые виды ре-

зины и каучуков (например, бутадиен-нитрильный) являются материалами, недостаточно стойкими к чистому биодизелю (В100) и его смесям с высоким содержанием БД. При длительном воздействии БД может разлагать некоторые лакокрасочные покрытия.

Хорошую совместимость с биодизелем показали фторсодержащие соединения (фторуглеродороды, фторкаучуки, фторопласты), соединения на основе стекло- и углеродного волокна.

Такие факторы, как окисление БД (увеличение кислотного числа), увеличение доли БД в топливных смесях свыше В20, присутствие воды, увеличение циркуляции БД, повышение температуры топлива усиливают степень его воздействия на нестойкие металлы и неметаллы. Степень воздействия БД зависит от содержания различных видов метиловых эфиров жирных кислот в БД: нестойкие конструкционные материалы теряют качество медленнее, если биодизель имеет более высокое содержание метиловых эфиров насыщенных жирных кислот (из-за их большей стойкости к окислению). Наличие воды в БД способствует разложению эфиров с образованием жирных кислот, что также увеличивает воздействие БД.

В таблице 5 представлен перечень основных конструкционных материалов, соответственно рекомендованных и не рекомендованных для судовых ТС в случае применения БД (В100).

Таблица 5 - Совместимость конструкционных материалов с БД (для В100)

Материалы	Рекомендуется	Не рекомендуется
Металлы	сталь углеродистая, сталь нержавеющая, алюминий и его сплавы	медь, медные сплавы (латунь, бронза); свинец, олово, цинк
Эластомеры	фторуглеродороды, фторкаучуки, фторопласты, полиамиды	натуральный каучук, бутадиеновый каучук, стирол-бутадиеновый каучук; нитриловая резина; неопрен, хлоропрен; гипалон
Полимеры	углепластик	полиэтилен, полипропилен, полиуретан, поливинилхлорид
Прочие	фиберглас	паронит

Топливные смеси с концентрацией БД менее чем В20 совместимы практически со всеми конструкционными материалами, а применение

биодизельных смесей с концентрации свыше В20 на данный момент не рекомендуется без соответствующих доработок элементов ТС (например,

замены материалов в топливной системе: бронзы – на алюминий, паронита на фторопласт, бутадиенового каучука – на фторкаучук и так далее).

Выводы

Исходя из приведенных данных можно сделать вывод, что биодизель наиболее близок по характеристикам к судовым топливам MDO/MGO. С ним могут работать существующие судовые системы, топливные терминалы (хранилища), бункеровочные суда и прочие. Имеется, однако, ряд вопросов, без решения которых нельзя рассчитывать на его широкое использование на водном транспорте.

Среди них – проблема загрязнения его водой, так как биодизель – гигроскопичный продукт. Основными проблемами при хранении биодизеля являются его окисление и полимеризация, которые могут усиливаться при повышении температуры и доступе воздуха. При длительном воздействии и определённых условиях биодизель, особенно B100, может вызывать окисление, коррозию некоторых металлов, набухание, размягчение и разложение эластомеров и полимеров.

Существует ряд организационных и технических методов, позволяющих исключить воздействие указанных факторов и успешно применять биодизель в качестве альтернативного судового топлива.

Литература

1. UFOP Chart of the week (50 2019), press release, 2019-12 [Electronic resource]. – URL: <http://news.bio-based.eu/global-biodiesel-production-is-increasing/>.
2. Global biodiesel production by country 2018. Published by T. Wang, Nov 26, 2019 [Electronic resource]. – URL: <https://www.statista.com/statistics/271472/biodiesel-production-in-selected-countries/>.
3. 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.
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. 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.
6. Pradeep Nayyar (April 2010). The Use of Biodiesel Fuels in the U.S. Marine Industry, U.S. Maritime Administration [Electronic resource]. – URL: http://www.socp.us/images.html?file_id=XZutrwhhkhk4%3D.
7. Biofuels: Marine Transport, Handling and Storage Issues [Electronic resource]. – URL: https://www.ukpandi.com/fileadmin/uploads/uk-pi/LP%20Documents/Carefully_to_Carry/C2C_Articles_2018/Biofuels_-_Marine_Transport_Handling_and_Storage_Issues.pdf.
8. Романцова С.В. Стабильность биодизельных топлив при хранении / С.В. Романцова, И.А. Рязанцева, К.С. Малахов // Вестник ТГУ. – Т.14. – Вып.1. – 2009. – С.63-66.
9. Левин, М.Ю. Сохранение качества биодизельного топлива за счет совершенствования технологии его хранения: автореферат дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01, 05.20.03 / Левин Максим Юрьевич; [Место защиты: Мичурин. гос. аграр. ун-т] Мичуринск, 2012. – 21 с.
10. Систер В.Г. Исследование стабильности биодизельного топлива при хранении / В.Г. Систер, С.А. Нагорнов, С.В. Романцова, С.В. Бодягина // Известия вузов. Проблемы энергетики. – 2012. – № 1-2. – С. 13-18.
11. Jose, T. K., & Anand, K. (2016). Effects of biodiesel composition on its long term storage stability. Fuel, 177, 190–196.
12. Kovács, A., Tóth, J., Isaák, G., & Keresztényi, I. (2015). Aspects of storage and corrosion characteristics of biodiesel. Fuel Processing Technology, 134, 59–64.
13. Исследование взаимодействия метилового эфира рапсового масла с конструкционными материалами / В.П. Коваленко, Е.А. Улюкина, Н.Н. Пуляев, О.Н. Шайдурова, А.С. Буряков // Международный научный журнал. – 2009. – № 5. – С. 36-40.
14. Chandran, D. Compatibility of diesel engine materials with biodiesel fuel. Renewable Energy, Vol. 147, Part 1, March 2020, P. 89-99.
15. Davannendran Chandran, Ng Hoon Kiat, Harrison Lau Lik Nang, Gan Suyin, Choo, Y M and Salmah Jahis. Compatibility of biodiesel fuel with metals and elastomers in fuel delivery system of a diesel engine. Journal of Oil Palm Research Vol. 28 (1) March 2016 p. 64-73
16. Alves, S. M., Mello, V. S. e, & Dutra-Pereira, F. K. (2017). Biodiesel Compatibility with Elastomers and Steel. Frontiers in Bioenergy and Biofuels.
17. Leily Nurul Komariah, Marwani, Suci Aprisah and Yangia S.L Rosa. Storage tank materials for biodiesel blends; the analysis of fuel property changes. MATEC Web Conf., 101 02012 (2017).
18. Mayank Bhardwaja, Parul Guptab, Neeraj Kumarc. Compatibility of Metals and Elastomers in Biodiesel: A review. International Journal of Research (IJR) Vol-1, Issue-7, August 2014, P. 376-391.
19. Кондратьев С.И. Обеспечение безопасности плавания транспортных судов в порту при маневрировании в операционной акватории причала [Текст] / С.И. Кондратьев, В.В. Устинов //

Транспортное дело России. –2012.– № 6-2.– С. 196-197

References

1. UFOP Chart of the week (50 2019), press release, 2019-12 [Electronic resource]. – URL: <http://news.bio-based.eu/global-biodiesel-production-is-increasing/>.
2. Global biodiesel production by country 2018. Published by T. Wang, Nov 26, 2019 [Electronic resource]. – URL: <https://www.statista.com/statistics/271472/biodiesel-production-in-selected-countries/>.
3. Tamandzha, I. Perspektivy i obosnovanie ispol'zovaniya biodizelya v sudovyh di-zel'nyh ustanovkakh / I. Tamandzha, N. N. SHujtasov // Vestnik AGTU. Ser.: Morskaya tekhnika i tekhnologiya. – 2010. – № 1. – S. 158-166.
4. Gromakov A.V. Perspektivy biotopliva, kak topliva dlya sudovyh dizelej / A.V. Gromakov, A.V. Fil' // Ekspluatatsiya morskogo transporta. – 2019. – № 4 (93). – S. 53-59.
5. 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.
6. Pradeep Nayyar (April 2010). The Use of Biodiesel Fuels in the U.S. Marine Industry, U.S. Maritime Administration [Electronic resource]. – URL: http://www.socp.us/images.html?file_id=XZutrwghhk4%3D.
7. Biofuels: Marine Transport, Handling and Storage Issues [Electronic resource]. – URL: https://www.ukpandi.com/fileadmin/uploads/ukpi/LP%20Documents/Carefully_to_Carry/C2C_Articles_2018/Biofuels_-_Marine_Transport__Handling_and_Storage_Issues.pdf.
8. Romancova S.V. Stabil'nost' biodizel'nyh topliv pri hranenii / S.V. Romancova, I.A. Ryazanceva, K.S. Malahov // Vestnik TGU. – T.14. – Vyp.1. – 2009. – S.63-66.
9. Levin, M.YU. Sohranenie kachestva biodizel'nogo topliva za schet sovershenstvovaniya tekhnologii ego hraneniya: avtoreferat dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.20.01, 05.20.03 / Levin Maksim YU'evich; [Mesto zashchity: Michurin. gos. agrar. un-t] Michurinsk, 2012. – 21 s.
10. Sister V.G. Issledovanie stabil'nosti biodizel'nogo topliva pri hranenii / V.G. Sister, S.A. Nagornov, S.V. Romancova, S.V. Bodyagina // Izvestiya vuzov. Problemy energetiki. – 2012. – № 1-2. – S. 13-18.
11. Jose, T. K., & Anand, K. (2016). Effects of biodiesel composition on its long term storage stability. Fuel, 177, 190–196.
12. Kovács, A., Tóth, J., Isaák, G., & Keresztényi, I. (2015). Aspects of storage and corrosion characteristics of biodiesel. Fuel Processing Technology, 134, 59–64.
13. Issledovanie vzaimodejstviya metilovogo e'fira rapsovogo masla s konstrukcion-ny'mi materialami / V.P. Kovalenko, E.A. Ulyukina, N.N. Pulyaev, O.N. Shajdurova, A.S. Buryakov // Mezhdunarodny'j nauchny'j zhurnal. – 2009. – № 5. – S. 36-40.
14. Chandran, D. Compatibility of diesel engine materials with biodiesel fuel. Renewable Energy, Vol. 147, Part 1, March 2020, P. 89-99.
15. Davannendran Chandran, Ng Hoon Kiat, Harrison Lau Lik Nang, Gan Suyin, Choo, Y M and Salmah Jahis. Compatibility of biodiesel fuel with metals and elastomers in fuel delivery system of a diesel engine. Journal of Oil Palm Research Vol. 28 (1) March 2016 p. 64-73
16. Alves, S. M., Mello, V. S. e, & Dutra-Pereira, F. K. (2017). Biodiesel Compatibility with Elastomers and Steel. Frontiers in Bioenergy and Biofuels.
17. Leily Nurul Komariah, Marwani, Sucia Aprisah and Yangia S.L Rosa. Storage tank materials for biodiesel blends; the analysis of fuel property changes. MATEC Web Conf., 101 02012 (2017).
18. Mayank Bhardwaja, Parul Guptab, Neeraj Kumar. Compatibility of Metals and Elastomers in Biodiesel: A review. International Journal of Research (IJR) Vol-1, Issue-7, August 2014, p. 376-391.
19. Kondrat'ev S.I. Obespechenie bezopasnosti plavaniya transportnyh sudov v portu pri manevrirovanii v operacionnoj akvatorii prichala [Tekst] / S.I. Kondrat'ev, V.V. Ustinov // Transportnoe delo Rossii. 2012. № 6-2. S. 196-197

УДК 6292.05

DOI: 10.34046/aumsuomt99/14

СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ РАБОТЫ ДВИГАТЕЛЕЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК СУДОВ И МОРСКОЙ ТЕХНИКИ

*В.В. Герасиди, кандидат технических наук, доцент
Н.И. Николаев, доктор технических наук, профессор
А.В. Лисаченко, аспирант*