

Раздел 3 СУДОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ, СИСТЕМЫ И УСТРОЙСТВА

УДК 621.431.74: 662.756.3
DOI: 10.34046/aumsuomt93/10

ПЕРСПЕКТИВЫ БИОТОПЛИВА, КАК ТОПЛИВА ДЛЯ СУДОВЫХ ДИЗЕЛЕЙ

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

В статье рассмотрены перспективы применения альтернативных видов топлива на водном транспорте. Приведены достоинства и недостатки различных видов топлива по сравнению с нефтяным топливом. Проанализировано влияние альтернативных топлив на окружающую среду. Обоснован выбор биотоплива как наиболее перспективного топлива. Рассмотрена технология получения биотоплива. Приведены рекомендации ведущих компаний производителей судовых дизельных двигателей по вопросу применения биотоплива. Сделаны выводы о возможности применения биотоплива в качестве топлива для судовых дизелей.

Ключевые слова: водный транспорт, дизельный двигатель, альтернативное топливо, растительные масла, биотопливо, метиловый эфир

The article discusses the prospects for the use of alternative fuels in water transport. Advantages and disadvantages of various types of fuels in comparison with oil fuel are given. The influence of alternative fuels on the environment is analyzed. The choice of biofuel as the most promising fuel is justified. The technology of biofuel production is considered. The recommendations of leading manufacturers of marine diesel engines on the use of biofuels are given. Conclusions are drawn about the possibility of using biofuels as fuel for marine diesel engines.

Keywords: water transport, diesel engine, alternative fuel, vegetable oils, biofuel, methyl ether.

Использование альтернативных топлив (АТ) на судах является одним из направлений развития судовой энергетики, поскольку решает ряд проблем, связанных с последствиями использования нефтяных топлив (в первую очередь, экологических).

Среди существующих видов альтернативных топлив, как наиболее перспективные можно выделить следующие: сжиженный нефтяной газ, сжиженный природный газ, метиловый спирт, водород, биогаз, растительные масла.

Сжиженный нефтяной газ (сжиженные углеводородные газы или пропан-бутановые смеси) получают при переработке нефтяного (попутного) газа. Он широко применяется как альтернативное топливо для бензиновых двигателей. Однако использование сжиженного нефтяного газа в качестве альтернативного топлива затруднено, так как требует значительного переоборудования судовых дизельных двигателей (ДД).

Применение в качестве топлива для ДД природного газа (как сжатого, так и сжиженного) позволяет снизить выброс в атмосферу наиболее вредных компонентов в 1,5-5 раз и снизить дымность отработавших газов в 10 раз. Однако ис-

пользование природного газа в ДД требует дополнительных условий, обеспечивающих его воспламенение, так как температура воспламенения природного газа значительно превосходит температуру воспламенения дизельного топлива (ДТ), что затрудняет его использование для ДД.

В качестве топлива для ДД можно использовать метиловый и этиловый спирты. Спиртовые топлива можно получить в результате синтеза природного газа, а также любого другого углеводородного сырья (угля, сланцев, торфа, древесины) и отходов промышленного и сельскохозяйственного производств.

Спиртовые топлива имеют ряд недостатков, таких как низкая склонность к воспламенению, что требует переоборудования ДД, токсичность, коррозионная активность и агрессивность по отношению к алюминиевым сплавам, резиновым изделиям. Вышеперечисленные недостатки спиртовых топлив затрудняют их использование в судовых ДД.

Водород как топливо обладает более высокой энергоемкостью по сравнению с нефтяным топливом, он не оказывает отрицательного воздействия на окружающую среду, так как при его

сгорании образуется только вода. Однако при работе ДД на водороде затруднено воспламенение, также отсутствует развитая инфраструктура его производства. Так как водород является опасным видом топлива, возникают сложности при его хранении, заправке и транспортировке. Поэтому использование водорода как топлива для ДД также проблематично.

Биогаз получают в результате брожения органических веществ. Его можно применять как топливо для ДД в сжатом или сжиженном виде. Одним из положительных качеств биогаза является его возобновляемость.

Биогаз, однако, значительно отличается от ДТ по теплоте сгорания, плотности и температуре воспламенения, что затрудняет его использование в качестве топлива для ДД [1].

Одним из наиболее перспективных альтернативных топлив для ДД являются растительные масла: подсолнечное, рапсовое, хлопковое, соевое, льняное, пальмовое, арахисовое, сурепное и др. Теплота сгорания растительных масел близка к теплоте сгорания традиционного дизельного топлива.

Так, в рамках своего пилотного проекта компания Maersk планирует запустить тестовые

рейсы контейнеровоза «Mette Maersk» дедеветом более 190 тыс. тонн только на биотопливных смесях, включающих пищевое использованное растительное масло [2].

Растительные масла имеют ряд преимуществ перед ДТ:

- растительное происхождение, то есть их возобновляемость;

- биологическая безвредность, так как они подвергаются практически полному биологическому распаду при попадании в воду;

- по сравнению с ДТ у растительных масел лучшие показатели по содержанию в продуктах их сгорания вредных веществ: СО, остаточных частиц и сажи и т.п.;

- хорошие смазочные характеристики, что увеличивает срок службы двигателя и топливной аппаратуры.

Недостатком растительных масел является высокая температура их застывания и повышенная вязкость.

В таблице 1 приведены сравнительные физико-химические показатели дизельного и альтернативных видов топлив.

Таблица 1 – Дизельное и альтернативные виды топлива и их физико-химические показатели

Физико-химические свойства	Виды топлива				
	ДТ	КПГ (метан)	СНГ (пропан)	метанол	растительное масло
1	2	3	4	5	6
Плотность ρ_{20} при 20°C, кг/м ³	831	415	491	796	917
Цетановое число	45	3	16	3	36
Вязкость кинематическая ν_{20} при 20°C, мм ² /с	3,81	–	0,18	0,54	76
Коэффициент поверхностного натяжения σ при 20°C, мН/м	27,2	33,1	–	–	33,3
Теплота сгорания наименьшая, МДж/кг	42,4	50,4	46,5	20,2	37,4
Температура самовоспламенения, °C	249	539	488	463	317
Температура помутнения, °C	- 26	–	–	–	- 8,5
Температура застывания, °C	- 36	–	–	- 97,8	- 21
Температура кипения, °C	181 - 361	-161,4	- 43	64,8	–
Теплота испарения при температуре кипения, кДж/кг	251	512	426	1114	–
Давление насыщенных паров при 0,1 МПа и 20°C, МПа	–	21,3	0,85	0,014	–
Количество воздуха, необходимого для сгорания 1 кг вещества, кг	14,2	17,1	15,6	6,5	12,4
Содержание по массе, %					
С	87,1	76,1	81,6	37,6	76
Н	12,5	23,9	18,4	12,4	12
О	0,3	0	0	50	12
Общее содержание серы по массе, %	0,21	–	0,014	–	0,003
Коксуемость 10%-го остатка, масса, %	0,22	–	–	–	0,39

Учитывая возобновляемость и физико-химические свойства в качестве альтернативного топлива предпочтение все чаще отдается растительным маслам.

Производство растительных масел зависит от доступности сырья, регионального климата и географического положения. Например, пальмовое масло получают в тропических странах, таких

как Малайзия и Индонезия, масло ятрофы, каранджи, махуа в Индии и Юго-Восточной Азии, соевое масло в США, кокосовое масло на Филиппинах, рапсовое и подсолнечное масла в Европе и

России и т.д. [3].

Физико-химические показатели различных масел представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Физико-химические показатели различных масел

Масла	Кинематическая вязкость, мм ² /с	Цетановое число	Низшая теплота сгорания, МДж/кг	Температура застывания, °С	Температура вспышки, °С	Плотность, кг/л
Масло каранджа	27,84-46	39	34-9,12	-2	205-230	0,912-0,93
Масло ятрофы	37	34	37,5	4	23	0,92
Арахисовое масло	39,6	41,8	39,8	-6,7	271	0,90
Кукурузное масло	34,9	37,6	39,5	-40,0	277	0,91
Хлопковое масло	33,5	41,8	39,5	-15,0	234	0,915
Подсолнечное масло	33,9	37,1	39,6	-15,0	274	0,916
Соевое масло	32,6-33,1	37,9-38	37,3-39,6	-12,2	254-315	0,914-0,92
Масло махуа	20,5-48,5	31-51	32-40	10-15	214-232	0,91-0,96
Кокосовое масло	31,59	-	35,8	-	-	0,915
Масло пуана	49,7	-	39,65	-5	158	0,93
Рапсовое масло	37,3	37,6	37,4	-	-	0,92

Использование растительных масел в чистом виде в качестве топлива для ДД сдерживается повышенным нагарообразованием - отложением нагара на распылителях форсунок и остальных частях камеры сгорания. Увеличению нагарообразования способствует наличие в растительных маслах смолистых веществ [4].

Улучшить свойства растительных масел, как топлива, можно с помощью их химической переработки в метиловые эфиры.

Для получения метилового эфира хорошо подходит рапсовое масло, так как его получение весьма выгодно по затратам энергии на переработку масличных семян и выходу масла.

Процесс производства метилового эфира рапсового масла (далее МЭРМ) содержит следующие основные этапы (рисунок 1).

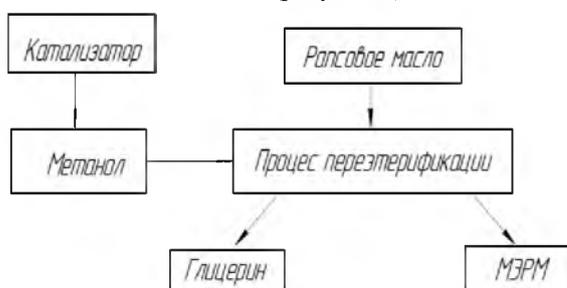


Рисунок 1 – Технология производства МЭРМ из рапсового масла

В очищенное от различных (в основном – механических) примесей растительное масло добавляют метиловый спирт и КОН или NOH, кото-

рые служат химическим катализатором так называемой реакции перэтерификации. Полученную смесь нагревают до 50 °С, после отстоя и охлаждения смесь расслаивается на 2 фракции - легкую и тяжелую. Легкая фракция и является метиловым эфиром, или МЭРМ, тяжелая – глицерином. По молекулярному составу МЭРМ близок к дизельному топливу [5].

Полученный МЭРМ можно использовать для замены MDO и MGO в малооборотных и среднеоборотных дизельных двигателях (буксиры, малые суда и грузовые суда), хотя он чаще используется в качестве компонента смеси судового топлива и может быть непосредственно залит в соответствующие танки [6, 7]. МЭРМ как топливо обладает хорошими воспламеняющими и смазывающими свойствами. Смеси МЭРМ с ДТ называют биотопливом [8]. При этом возникает вопрос разработки эффективного смесителя непрерывного действия, на котором можно получать топливные смеси с различным содержанием МЭРМ.

Существует два основных стандарта, установленных для МЭРМ: европейский (EN 14214) и американский (ASTM 6751). Требования, указанные в этих стандартах, почти одинаковы, лишь незначительно отличаются в зависимости от желаемого применения и выбора методов испытаний. Оба стандарта определяют методы испытаний и технические характеристики чистого МЭРМ и его смесей [7]. Основные требования стандартов ASTM D6751 и EN14214 приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Биотопливные стандарты

Показатели	МЭРМ	
	ASTM D6751	EN14214
Плотность при 15 °С, кг/м ³	880	860-900
Цетановое число	мин. 47	мин. 51
Вязкость при 40 °С, сСт	1,9-6,0	3,5-5,0
Йодное число	-	макс. 120
Теплотворная способность, МДж/кг	-	35
Кислотность, мг КОН/г	макс. 0,5	макс. 0,5
Температура застывания, °С	от -15 до -16	-
Температура вспышки, °С	100-170	> 120
Зольность, %	0,02	0,02
Сера, % м/м	макс. 0,05	10
Смазывающая способность	314	-

Одним из основных преимуществ биотоплива является то, что оно обладает более высокими смазывающими свойствами, защищая тем самым от износа детали топливных насосов высокого давления (ТНВД) и другую топливную аппаратуру.

Во многих литературных источниках приводятся данные о том, что использование биотоплива снижает в выхлопных газах содержание таких веществ как: углеводороды, твердые частицы, углекислый газ CO₂ и угарный газ CO, но выбросы оксида азота NO_x могут увеличиться [9].

Большинство исследований показали, что снижение вредных выбросов в выхлопных газах за счет применения биотоплива может быть связано с достаточным содержанием кислорода в топливе [10]. Типичная зависимость между процентным содержанием МЭРМ в топливе и процентным изменением выбросов по четырем вредным выбросам (угарного газа CO, оксида азота NO_x, твердых частиц PM и углеводорода HC), основанная на исследованиях Агентства по охране окружающей среды США, приведена на рисунке 2 [11].

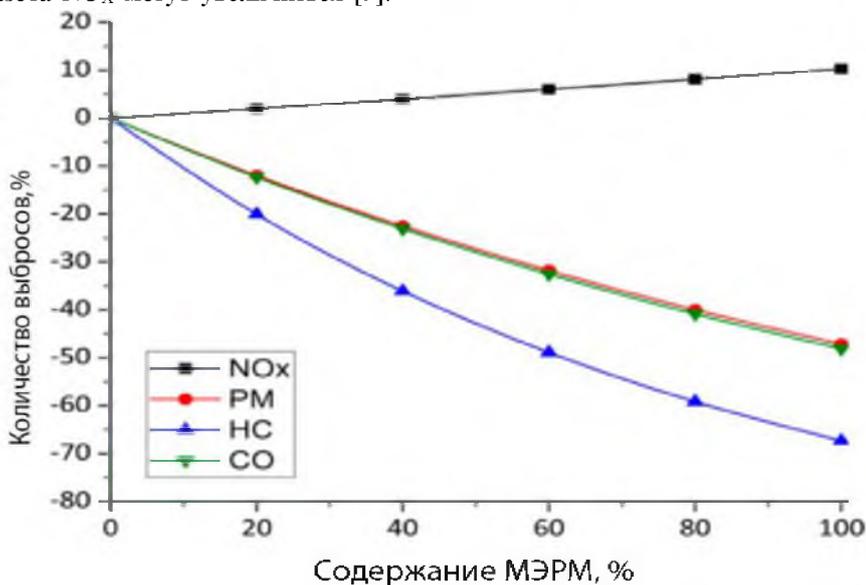


Рисунок 2 - Взаимосвязь между содержанием МЭРМ в топливе и содержанием вредных выбросов

Физико-химические свойства получаемого биотоплива в различных процентных соотношениях, а также исходные свойства ДТ и МЭРМ приведены в таблице 4 [12].

Свойства биотоплива в целом близки к свойствам нефтяного ДТ.

Большинство производителей судовых двигателей в Европе, Соединенных Штатах и

Японии признали роль биотоплива в качестве альтернативного топлива [13]. Некоторые производители даже считают, что их двигатели могут использовать до 100% МЭРМ с изменением конструкции двигателя или без них. Они, естественно, гарантируют эффективность применения биотоплива при определенных условиях, которые необходимо соблюдать. В Соединенных Штатах производители двигателей гарантируют

эффективность применения биотоплива, соответствующего качеству ASTM D6751, в то время как в Европе они в основном ссылаются на стандарт EN 14214. Производители двигателей утверждают, что использование биодизеля, которое не

соответствует указанным стандартам, существенно повлияет на долговечность и производительность двигателей.

Таблица 4 – Физико-химические свойства биотоплив с различным процентным соотношением

Физико-химические свойства	Топлива						
	дизельное топливо (ДТ)	метиловый эфир рапсового масла (МЭРМ)	95 % ДТ + 5 % МЭРМ	90 % ДТ + 10 % МЭРМ	80 % ДТ + 20 % МЭРМ	60 % ДТ + 40 % МЭРМ	40 % ДТ + 60 % МЭРМ
1	2	3	4	5	6	7	8
Плотность при 293 К (20 °С), кг/м ³	830	877	832	835	839	848	858
Кинематическая вязкость при 293 К (20 °С), мм ² /с	3,8	8	3,94	4,09	4,41	5,2	6,0
Коэффициент поверхностного натяжения при 293 К (20 °С), Н/м	27,1	30,7	–	–	–	–	–
Низкая теплота сгорания, МДж/кг	42,5	37,8	42,27	42,03	41,56	40,62	39,68
Цетановое число	45	48	–	–	–	–	–
Температура самовоспламенения, К (°С)	523 (250)	503 (230)	–	–	–	–	–
Температура помутнения, К (°С)	248 (-25)	260 (-13)	–	–	–	–	–
Температура застывания, К (°С)	238 (-35)	252 (-21)	–	–	–	–	–
Количество воздуха, необходимое для сгорания 1 кг топлива, кг	14,3	12,6	14,24	14,16	13,98	13,63	13,26
Массовое содержание, %:							
углерода	87,1	77,4	86,4	86,2	85,0	83,3	81,2
водорода	12,6	12,0	12,6	12,5	12,5	12,4	12,2
кислорода	0,3	10,6	0,8	1,3	2,5	4,3	6,6
Общее содержание серы, масс. %	0,20	0,002	0,19	0,18	0,16	0,12	0,08
Коксуемость 10 % остатка, масс. %	0,2	0,3	–	–	–	–	–

Фирма Caterpillar гарантирует эффективность применения биотоплива ASTM D6751 / EN 14214, указывая это в технических описаниях своих двигателей. Биотопливо может использоваться с содержанием МЭРМ до 30%, а если покупатель намерен использовать больше количество МЭРМ в смеси, то ему следует обращаться за консультацией к дилерам. Диапазон серий двигателей, допустимых к применению биотоплива, включает моделей С7-С32, 3114-3500, С-9, С-10, С-12, С-15, С-16, С-18, С175, С280, 3600, СМ20, СМ25 и СМ32.

Фирма Cummins допускает использование в топливе до 5% МЭРМ на всех своих моделях двигателей при условии, что смеси соответствуют всем требованиям ASTM D6751 или EN14214. При этом биотопливные смеси с долей МЭРМ до 20% могут использоваться только для ограниченных моделей, таких как QSX, QSM, QSL, QSC,

QSB6.7, QSB4.5, QSB3.3, QSM Marine, QSM G, QSK60, QSK50, К50 QSK45, QSK38, К38 QSK19 и К19.

Фирма MAN B&W Diesel, которая производит малооборотные и среднеоборотные судовые дизельные двигатели для СЭУ, имеет опыт работы на 100% МЭРМ своих больших среднеоборотных 4-тактных морских двигателей. На основании этих результатов MAN допускает применение биотоплива в своих двигателях, за исключением случаев, когда МЭРМ смешивается с остаточным или тяжелым мазутом. MAN также имеет опыт работы с топливом В5 (содержание МЭРМ 5%), работающим на больших среднеоборотных автомобильных двигателях.

Фирма Wartsila имеет опыт работы стационарных двигателей на метиловом эфире пальмового масла. Большинство из этих двигателей ис-

пользуются для выработки электроэнергии. Двигатель Wartsila 6L20 способен работать на различных типах биотоплива, которые соответствуют стандартам биотоплива Wartsila. Их двигатели имеют устройства, которые могут переключать подачу различного топлива без каких-либо сбоев в работе.

Фирма Detroit Diesel США, является производителем двигателей большой мощности для судов и автомобилей. Detroit Diesel позволяет использовать биодизель B5 стандарта ASTM на некоторых двигателях, таких как модели DD13, DD15, DD16 и MBE900/4000. Между тем, двигатели серии 60, выпускаемые после 2004 года, могут работать на биотопливе до B20. В двигателях, изготовленных до 2004 года, не рекомендовалось использовать более 5% МЭРМ, поскольку некоторые материалы их конструкции могли быть несовместимы с биотопливом, например резиновые уплотнения, бронза, медь, цинк и свинец.

Компания Volvo Penta из Швеции является известным производителем судовых двигателей мощностью от 10 до 1000 л.с. Volvo Penta допускает использование биодизеля с содержанием МЭРМ до 7%. Более высокое содержание МЭРМ (до 30%) разрешено только для двигателей, произведенных после 1 января 2012 года, при условии, что биотопливные смеси соответствуют требованиям стандартов EN 14214 и EN 590. Компания подчеркивает, что для топлива с 30% МЭРМ требуется специальное обслуживание двигателя. Эта гарантия не распространяется на вспомогательные двигатели Volvo Penta.

Компания Yanmar Co.Ltd. является успешным ведущим японским производителем судовых двигателей. Продолжая усилия по созданию более экологически чистых продуктов, Yanmar одобрила использование биотоплива B5 в своей линейке судовых двигателей при условии, что основа биотоплива соответствует стандартам ASTM D6751 или ISO EN14214. Использование большей концентрации МЭРМ (до B20) допускается для определенных моделей двигателей со специальными режимами эксплуатации.

Выводы

Результаты проведенных исследований показали, что биотопливо пригодно для использования в качестве альтернативного топлива в судовых дизельных двигателях. Использование традиционного нефтяного топлива в смеси с МЭРМ, можно рассматривать как эффективный способ уменьшения загрязнения воздуха морскими судами и обеспечения соблюдения правил ИМО.

Свойства биотоплива близки к свойствам судового нефтяного ДТ, однако для его приготовления необходима разработка эффективных устройств (в том числе смешивающих) высокой производительности.

Литература

1. Горбов, В.М. Проблемы применения альтернативных топлив в судовых энергетических установках [Электронный ресурс] / В.М. Горбов, В.С. Митенкова // Эффективные инструменты современных наук: Секция Технические науки, подсекция 5 (Энергетика). – Режим доступа: http://www.rusnauka.com/9_EISN_2007/Tec-nic/21287.doc.htm.
2. Maersk partners with global companies to trial bio-fuel [Electronic resource]. - URL: <https://www.maersk.com/news/2019/03/22/maersk-partners-with-global-companies-to-trial-bio-fuel>.
3. Kesime U., Pazouki K., Murphy A., Chrysanthou A. Biofuel as alternative shipping fuel: technology, environmental and economic assessment. Sustainable Energy Fuels, 2019.
4. Курносов, Ю.Ю. Перспективы применения биотоплива на водном транспорте / Ю.Ю. Курносов, А.В. Громаков // Проблемы технической и коммерческой эксплуатации транспортных и транспортно-технологических комплексов: Тез. докл. науч.-практ. конф. студ. и молод. исслед. с междунар. участием (г. Зерноград, АЧИИ ФГБОУ ВО ДГАУ, 26.03.-05.04.2017 г.). – Зерноград, 2017. – С. 46-47.
5. Черный В.С. Технология получения биотоплива для судовых дизелей / В.С. Черный, А.В. Громаков // Проблемы совершенствования и эксплуатации транспортных и транспортно-технологических машин и комплексов: Сб. Материалов 78-й Всеросс. науч.-практ. конф. студ. и молод. исслед. (г. Зерноград, АЧИИ ФГБОУ ВО ДГАУ, 3–5 апреля 2019 г.). – Зерноград, 2019. – С. 82-83.
6. [Sadeghinezhad E, Kazi SN, Badarudin A, Oon CS, Zubir MNM, Mehrali M. A comprehensive review of bio-diesel as alternative fuel for compression ignition engines. Renew Sustain Energy Rev 2013;28:410-24.](#)
7. С.-Y. Lin. Strategies for promoting biodiesel use in marine vessels. Marine Policy 2013;40:84–90.
8. 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.
9. Таманджа, И. Результаты испытаний на токсичность отработавших газов судовых дизелей 1С 17,5/24 и 4С 8,5/11 по нагрузочной характеристике при работе на дизельном и биодизельном топливе / И. Таманджа, Н. Н. Шуйтасов // Вестник АГТУ. Сер.: Морская техника и технология. – 2011. – № 1. – С. 147-155.

10. Puskar M, Kopas M, Puskar D, Lumnitzer J. Method for reduction of the NOx emissions in marine auxiliary diesel engine using the fuel mixtures containing biodiesel using HCCI combustion. *Mar Pollut Bull* 2017;127:752-60.
11. US National Biodiesel Board. Advantage biodiesel on marine. United States: National Biodiesel Board; 2015.
12. Громаков, А.В. Повышение эффективности функционирования машинно-тракторных агрегатов за счет применения биотоплива / Громаков Алексей Владимирович // Дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01. – Зерноград, 2012. – 155 с.
13. Mohd Noor C.W., Noor M.M., Mamat R. Biodiesel as alternative fuel for marine diesel engine applications: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2018;94:127–142.
14. Каракаев А.Б., Хекерт Е.В., Луканин А.В. Разработка методологии, методов и моделей анализа влияния различных вариантов построения структуры и режимов поддержания и восстановления работоспособности судовых электроэнергетических систем (Часть 2) / Эксплуатация морского транспорта. 2016. № 4 (81). С. 85-95.
15. Бабурина О.Н., Кондратьев С.И. Морские перевозки: тенденции развития в мировой и российской экономике / Транспортное дело России. 2016. № 5. С. 112-116.
5. Cherny`j V.S. Teknologiya polucheniya biotopliva dlya sudovy`x dizelej / V.S. Cher-ny`j, A.V. Gromakov // Problemy` sovershenstvovaniya i e`kspluatatsii transportny`x i transportno-tekhnologicheskix mashin i kompleksov: Sb. Materialov 78-j Vseross. nauch.-prakt. konf. stud. i molod. issled. (g. Zernograd, AChII FGBOU VO DGAU, 3–5 aprelya 2019 g.). – Zernograd, 2019. – S. 82-83.
6. [Sadeghinezhad E, Kazi SN, Badarudin A, Oon CS, Zubir MNM, Mehrali M. A comprehensive review of bio-diesel as alternative fuel for compression ignition engines. *Renew Sustain Energy Rev* 2013;28:410-24.](#)
7. C.-Y. Lin. Strategies for promoting biodiesel use in marine vessels. *Marine Policy* 2013;40:84–90.
8. Tamandzha, I. Perspektivy` i obosnovanie ispol`zovaniya biodizelya v sudovy`x di-zel`ny`x ustanovkax / I. Tamandzha, N. N. Shujtasov // Vestnik AGTU. Ser.: Morskaya tex-nika i tekhnologiya. – 2010. – № 1. – S. 158-166.
9. Tamandzha, I. Rezul`taty` ispy`taniy na toksichnost` otrabotavshix gazov sudovy`x dizelej 1Ch 17,5/24 i 4Ch 8,5/11 po nagruzochnoj karakteristike pri rabote na dizel`nom i biodizel`nom toplive / I. Tamandzha, N. N. Shujtasov // Vestnik AGTU. Ser.: Morskaya texnika i tekhnologiya. – 2011. – № 1. – S. 147-155.
10. Puskar M, Kopas M, Puskar D, Lumnitzer J. Method for reduction of the NOx emissions in marine auxiliary diesel engine using the fuel mixtures containing biodiesel using HCCI combustion. *Mar Pollut Bull* 2017;127:752-60.
11. US National Biodiesel Board. Advantage biodiesel on marine. United States: National Biodiesel Board; 2015.
12. Gromakov, A.V. Povy`shenie e`ffektivnosti funkcionirovaniya mashinno-traktorny`x agregatov za schet primeneniya biotopliva / Gromakov Aleksej Vladimirovich // Dis. ... kand. texn. nauk: 05.20.01. – Zernograd, 2012. – 155 s.
13. Mohd Noor C.W., Noor M.M., Mamat R. Biodiesel as alternative fuel for marine diesel engine applications: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2018;94:127–142.
14. Karakaev A.B., Hekert E.V., Lukanin A.V. Razrabotka metodologii, metodov i modelej analiza vliyaniya razlichnyh variantov postroeniya struktury i rezhimov podderzhaniya i voss-tanovleniya rabotosposobnosti sudovyh elektroenergeticheskix sistem (CHast` 2) / Eksploatatsiya morskogo transporta. 2016. № 4 (81). S. 85-95.
15. Baburina O.N., Kondrat`ev S.I. Morskie perevozki: tendencii razvitiya v mirovoj i rossijskoj ekonomike / Transportnoe delo Rossii. 2016. № 5. S. 112-116.

References

1. Gorbov, V.M. Problemy` primeneniya al`ternativny`x topliv v sudovy`x e`nergeticheskix ustanovkax [E`lektronny`j resurs] / V.M. Gorbov, V.S. Mitenkova // E`ffektivny`e instrumenty` sovremenny`x nauk: Sekciya Tekhnicheskie nauki, podsekcija 5 (E`nergetika). – Rezhim dostupa: http://www.rusnauka.com/9_EISN_2007/Tecnic/21287.doc.htm.
2. Maersk partners with global companies to trial bio-fuel [Electronic resource]. - URL: <https://www.maersk.com/news/2019/03/22/maersk-partners-with-global-companies-to-trial-biofuel>.
3. Kesime U., Pazouki K., Murphy A., Chrysanthou A. Biofuel as alternative shipping fuel: technology, environmental and economic assessment. *Sustainable Energy Fuels*, 2019.
4. Kurnosov, Yu.Yu. Perspektivy` primeneniya biotopliva na vodnom transporte / Yu.Yu. Kurnosov, A.V. Gromakov // Problemy` tekhnicheskoy i kommercheskoj e`kspluatatsii transportny`x i transportno-tekhnologicheskix kompleksov: Tez. dokl. nauch.-prakt. konf. stud. i molod. issled. s mezhdunar. uchastiem (g. Zernograd, AChII FGBOU VO DGAU, 26.03.-05.04.2017 g.). – Zernograd, 2017. – S. 46-47.
5. Cherny`j V.S. Teknologiya polucheniya biotopliva dlya sudovy`x dizelej / V.S. Cher-ny`j, A.V. Gromakov // Problemy` sovershenstvovaniya i e`kspluatatsii transportny`x i transportno-tekhnologicheskix mashin i kompleksov: Sb. Materialov 78-j Vseross. nauch.-prakt. konf. stud. i molod. issled. (g. Zernograd, AChII FGBOU VO DGAU, 3–5 aprelya 2019 g.). – Zernograd, 2019. – S. 82-83.
6. [Sadeghinezhad E, Kazi SN, Badarudin A, Oon CS, Zubir MNM, Mehrali M. A comprehensive review of bio-diesel as alternative fuel for compression ignition engines. *Renew Sustain Energy Rev* 2013;28:410-24.](#)
7. C.-Y. Lin. Strategies for promoting biodiesel use in marine vessels. *Marine Policy* 2013;40:84–90.
8. Tamandzha, I. Perspektivy` i obosnovanie ispol`zovaniya biodizelya v sudovy`x di-zel`ny`x ustanovkax / I. Tamandzha, N. N. Shujtasov // Vestnik AGTU. Ser.: Morskaya tex-nika i tekhnologiya. – 2010. – № 1. – S. 158-166.
9. Tamandzha, I. Rezul`taty` ispy`taniy na toksichnost` otrabotavshix gazov sudovy`x dizelej 1Ch 17,5/24 i 4Ch 8,5/11 po nagruzochnoj karakteristike pri rabote na dizel`nom i biodizel`nom toplive / I. Tamandzha, N. N. Shujtasov // Vestnik AGTU. Ser.: Morskaya texnika i tekhnologiya. – 2011. – № 1. – S. 147-155.
10. Puskar M, Kopas M, Puskar D, Lumnitzer J. Method for reduction of the NOx emissions in marine auxiliary diesel engine using the fuel mixtures containing biodiesel using HCCI combustion. *Mar Pollut Bull* 2017;127:752-60.
11. US National Biodiesel Board. Advantage biodiesel on marine. United States: National Biodiesel Board; 2015.
12. Gromakov, A.V. Povy`shenie e`ffektivnosti funkcionirovaniya mashinno-traktorny`x agregatov za schet primeneniya biotopliva / Gromakov Aleksej Vladimirovich // Dis. ... kand. texn. nauk: 05.20.01. – Zernograd, 2012. – 155 s.
13. Mohd Noor C.W., Noor M.M., Mamat R. Biodiesel as alternative fuel for marine diesel engine applications: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2018;94:127–142.
14. Karakaev A.B., Hekert E.V., Lukanin A.V. Razrabotka metodologii, metodov i modelej analiza vliyaniya razlichnyh variantov postroeniya struktury i rezhimov podderzhaniya i voss-tanovleniya rabotosposobnosti sudovyh elektroenergeticheskix sistem (CHast` 2) / Eksploatatsiya morskogo transporta. 2016. № 4 (81). S. 85-95.
15. Baburina O.N., Kondrat`ev S.I. Morskie perevozki: tendencii razvitiya v mirovoj i rossijskoj ekonomike / Transportnoe delo Rossii. 2016. № 5. S. 112-116.