

УДК 621.039.542.5

DOI: 10.37890/jwt.vi75.359

Природный газ как альтернатива жидким углеводородам на судах с дизельной установкой

Ю.И. Матвеев

Н.А. Лаптев

В.В. Колыванов

М.Ю.Храмов

Волжский государственный университет водного транспорта, г. Нижний Новгород, Россия

Аннотация. В двигателях внутреннего сгорания (ДВС) различного назначения все чаще используют альтернативные виды топлива. Практика применения альтернативных топлив указывает на то, что их физико-химические свойства вносят значительные коррективы в способ организации рабочего процесса ДВС и весьма существенно влияют на эффективные и экологические показатели двигателя и всей энергетической установки в целом. Основной задачей проектирования энергетической установки с ДВС, работающей на синтез-газе, является обеспечение необходимой мощности, минимальной затраты топлива на различных режимах работы, а также минимальных выбросов вредных веществ в окружающую среду в зависимости от состава синтез-газа. Следует отметить, что более низкая удельная теплота сгорания синтез-газа по сравнению с традиционными сортами топлива (25...30 мДж/кг) приводит к значительному уменьшению мощности судового двигателя. Именно этот фактор и обуславливает использование синтез-газа в качестве добавки к традиционному топливу. Анализ имеющихся результатов и проведение моделирования процессов сгорания сжиженного природного газа на судах позволит спрогнозировать и определить дальнейшие пути повышения топливной эффективности, показателей мощности и экологии двигателей, работающих на этаноле с принудительным зажиганием.

Ключевые слова: двигатель, ДВС, природный газ, синтез-газ, топливо, альтернатива, углеводород, судно.

Natural gas as an alternative to liquid hydrocarbons on diesel-powered vessels

Yuriy I. Matveev

Nikolai A. Laptev

Vladimir V. Kolyvanov

Michael Y. Khramov

Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. Alternative fuels are increasingly being used in internal combustion engines (ICE) for various purposes. The practice of using alternative fuels indicates that their physicochemical properties make significant adjustments to the way the internal combustion engine workflow is organized and have a very significant impact on the effective and environmental performance of the engine and the entire power plant as a whole. The main task of designing a power plant with an internal combustion engine running on synthesis gas

is to provide the necessary power, minimum fuel consumption in various operating modes, as well as minimum emissions of harmful substances into the environment, depending on the composition of the synthesis gas. It should be noted that the specific heat of combustion of synthesis gas is lower compared to traditional grades of fuel (25...30 MJ/kg), this leads to a significant reduction in the power of the marine engine. It is this factor that determines the use of synthesis gas as an additive to traditional fuel. Analysis of the available results and modeling of the combustion processes of liquefied natural gas on ships will allow to predict and determine further ways to improve fuel efficiency, power indicators and ecology of engines running on ethanol with forced ignition.

Keywords: engine, internal combustion engine, natural gas, synthesis gas, fuel, alternative, hydrocarbon, vessel.

Введение

Исследование параметров работы энергетических установок малотоннажных судов при использовании спиртовых видов топлива с помощью численного моделирования параметров и характеристик рабочего процесса поршневого двигателя с принудительным зажиганием, а также работающих на этаноле при использовании термохимической утилизации теплоты отработанных газов, позволяет установить новые закономерности, уточнить механизм влияния параметров конверсии этанола в синтез-газ на топливную экономичность ДВС, а также оценить рациональные пределы использования системы утилизации.

Кроме того, математическое моделирование позволяет значительно снизить материальные затраты на исследования и получить достоверные результаты [1].

К биотопливу второго поколения относят топлива, получаемые путем пиролиза биомассы. Сырьем для биотоплива второго поколения являются лигно-целлюлозные соединения, содержащиеся в твердой биомассе в некоторых специально выращиваемых растениях и водорослях. В результате пиролиза получают горючие жидкости, из которых производят топлива, в том числе, и для судовых ДВС. Биотопливо второго поколения выпускают и продают канадская компания Dynamotive и SunDiesel и немецкая компания Choren Industries GmbH, однако объемы этих продаж на рынке энергетического топлива существенно не влияют на снижение спроса на газ [2].

Из приведенного выше анализа можно сделать вывод, что применение биологических топлив для судовой энергетики – вопрос далекой перспективы, в связи с чем нет необходимости рассматривать другие аспекты их использования в качестве альтернативного топлива для судовой энергетики. Вернуться к решению этих вопросов можно будет только после появления отработанных методов выработки биотоплива третьего поколения с морских биоресурсов [3]. В ближайшей перспективе имеющиеся биоресурсы будут направлены в первую очередь на нужды наземного транспорта, который наносит наибольший вред окружающей среде. Специфика эксплуатации морских судов позволяет, несмотря на значительные объемы вредных выбросов, рассеивать их на большие территории, что значительно снижает нагрузку на окружающую среду [4].

В краткосрочной перспективе задачи снижения стоимости перевозок и уменьшения негативного влияния на окружающую среду будут явно определяться и уже решаются за счет перевода части судовых двигателей на сжиженный природный газ (СПГ). Этот путь требует гораздо меньших затрат по сравнению с использованием традиционного топлива: (ТП)-газойлей, мазута, дизельного и моторного топлива и т.п. Однако, учитывая ограниченность запасов СПГ и их широкое использование на других видах транспорта, в энергетике и коммунальной сфере, последствия появления еще одного крупного потребителя, такого как торговый флот, на поведение газового рынка спрогнозировать достаточно сложно [1].

Наиболее перспективными газовыми топливами для использования на судах сегодня являются VOC, LNG и LPG, которые представляют собой: продукты испарения нефти в танках нефтеналивных танкеров, сжиженный природный газ или пропан - бутановые смеси [5].

Ужесточение экологических норм по содержанию в отработавших газах судовых малооборотных двигателей токсичных веществ и парниковых газов сделали использования природного и нефтяного газов привлекательной альтернативой традиционным моторным топливам, несмотря на дополнительные технические трудности, связанные с их применением [6]. Особенно проблема использования СПГ осложняется для малооборотных судовых двигателей (МОД) тем, что в силу особенностей организации рабочего процесса в двигателях данного класса возможно только внутреннее формирование на такте сжатия. Реализация рабочего процесса с внутренним образованием эмульсии связана с целым рядом проблем, решением которых с разной степенью успешности занимаются ведущие производители судовых малооборотных двигателей. Для других типов судовых дизелей уже есть вполне отработанные решения, что способствует широкому внедрению газовых и газодизельных двигателей в практику эксплуатации [7].

В долгосрочной перспективе для судовой энергетики представляют интерес ТП. Разработка технологий их использования требует гораздо больших финансовых затрат и времени на проведение исследовательских и опытно-конструкторских работ, однако позволит решить вопрос расширения топливной базы на значительно больший период, чем использование СПГ.

Следует отметить, что Р. Дизель был не первым, кто пытался достичь охлаждения заряда, используя поглощение теплоты за счет энергии фазового перехода. Явление поглощения и выделения теплоты при фазовом переходе из одного агрегатного состояния в другое широко используется в технике для накопления тепловой энергии с последующим ее использованием и стабилизации температурного состояния. Метод охлаждения заряда путем распыления воды в объеме рабочего цилиндра с последующим поглощением теплоты на фазовый переход из жидкой фазы в газообразное состояние использовался в первой половине прошлого века в калоризаторных двигателях и показал свою эффективность [8,9]. Учитывая то, что по характеру активации горения процессы в рабочем цилиндре ДВС и калоризаторных двигателях схожи, можно предположить, что охлаждение заряда будет эффективно влиять на рабочий процесс ДВС. Однако есть специфические особенности протекания процесса сжатия в цилиндре ДВС, которые необходимо учитывать при моделировании рабочего процесса [10].

Цель данной работы заключается в повышении эффективности энергетических установок малотоннажных судов при использовании спиртовых топлив; установлении влияния состава синтез-газа на основные параметры работы двигателя; определении рационального соотношения параметров рабочего процесса ДВС и параметров работы системы термохимической утилизации теплоты. Оптимизация вышеуказанных данных обеспечит приемлемые удельный расход топлива, мощность двигателя и его экологичность при определенных условиях эксплуатации.

Методы

Для исследования изменения индикаторных показателей работы двигателя в зависимости от добавки синтез-газа к этанолу за основу был выбран двигатель 4С10,16/9,1 (Volvo Penta), который широко применяется в малотоннажном судостроении.

Диапазон величины добавки синтез-газа к этанолу при исследовании составляет 1- 10% от массы этанола. Синтез-газ состоит из следующих основных компонентов: H₂ (43%), CO (34%) и CH₄ (23%). Расчетная удельная теплота сгорания синтез-газа составляет – 28,79 МДж/кг, плотность – 0,63 кг/м³. Значение коэффициента избытка

воздуха лежит в пределах 0,98...1,2. Основные параметры двигателя 4Ч 10,16/9,1 приведены в таблице 1.

Таблица 1

Основные параметры двигателя 4Ч 10,16/9,1

Параметр	Единица измерения	Значение
Тип	–	Стандартное
Рабочий объем	см ³	2960
Диаметр цилиндра / ход поршня	мм	101,6/91,4
Количество цилиндров	–	4
Степень сжатия	–	9,2
Мощность	кВт	92
Максимальная частота вращения	об/мин.	4600
Норма токсичности	–	Евро-4

Изменение индикаторных показателей работы двигателя 4Ч 10,16/9,1 в зависимости от величины добавки синтез-газа к этанолу представлено на рис. 1 и рис. 2.

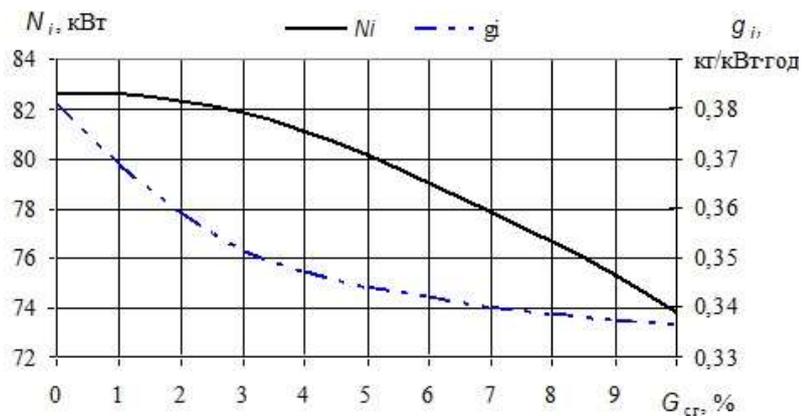


Рис. 1. Влияние величины добавки синтез-газа к этанолу на индикаторную мощность и индикаторный расход топлива двигателя 4Ч 10,16/9,1

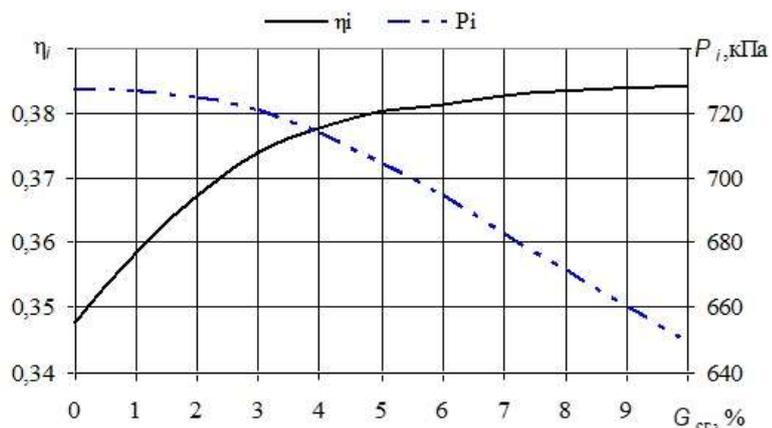


Рис. 2. Влияние величины добавки синтез-газа до этанола на индикаторный КПД и среднее индикаторное давление двигателя 4Ч 10,16/9,1

При работе двигателя на этаноле с добавками синтез-газа в зависимости от величины добавки наблюдается снижение индикаторной мощности с 82,6 до 73,8 кВт. Снижение мощности при этом составляет 10,6%, что является недостаточно

существенным. При этом наблюдается рост индикаторного КПД на 10,5% и снижение удельного индикаторного расхода топлива на 11,7%. В зависимости от величины добавки синтез-газа к этанолу 1...10% наблюдается снижение индикаторного давления и индикаторной работы цикла (рис. 3).

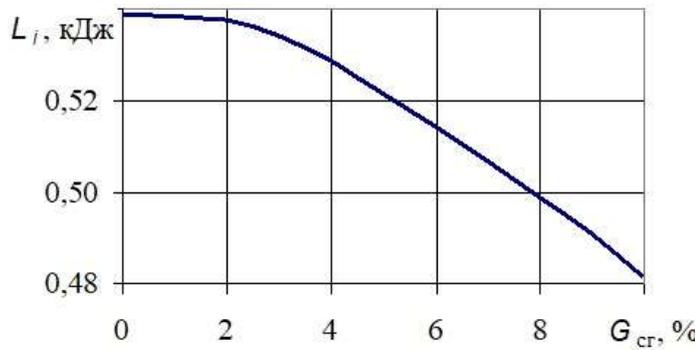


Рис. 3. Изменение индикаторной работы цикла двигателя 4Ч 10,16/9,1 в зависимости от величины добавки синтез-газа к этанолу

На рис. 4 приведены индикаторные диаграммы и диаграммы изменения температуры газов в цилиндре двигателя при работе на этаноле и с добавкой синтез-газа.

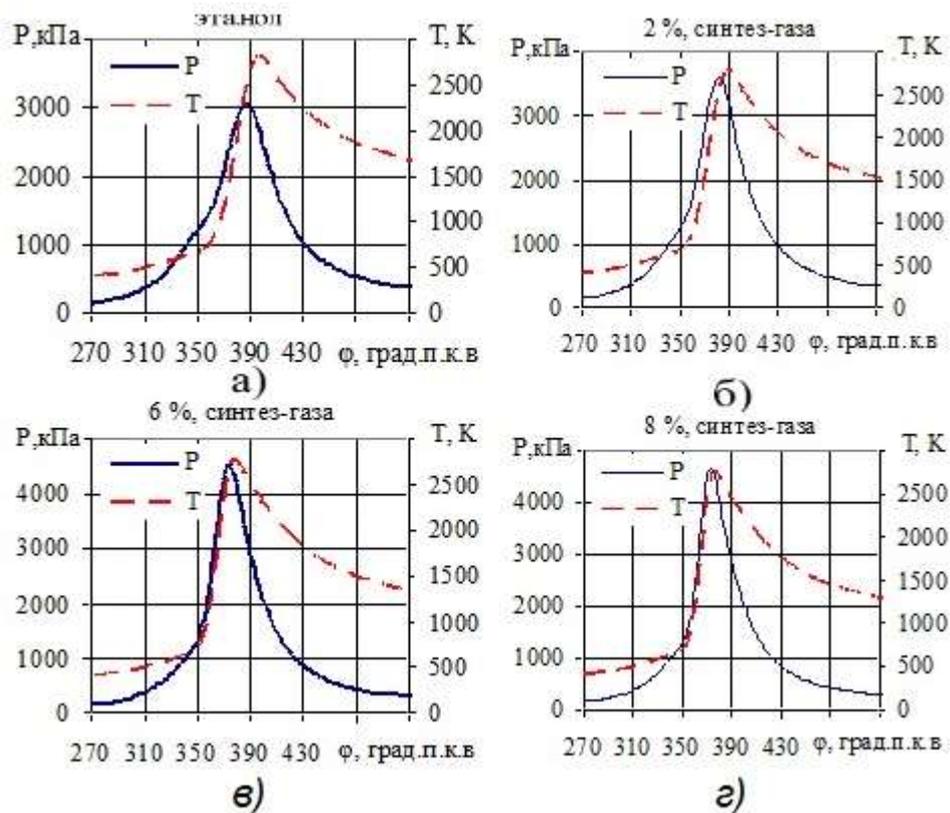


Рис. 4. Индикаторные диаграммы и диаграммы изменения температуры газов двигателя 4Ч 10,16/9,1 при работе: а – этанол; б – добавка синтез-газа 2%; в – добавка синтез-газа 6%; г – добавка синтез-газа 8%

Изменение максимального давления сгорания и температуры в зависимости от добавки синтез-газа представлено на рис. 5. Повышение давления сгорания при добавке синтез-газа до этанола объясняется увеличенной концентрацией водорода в топливе, а уменьшение продолжительности сгорания (рис. 6) – высокой скоростью сгорания топливовоздушной смеси.

Максимальное значение давления сгорания (рис. 5) в зависимости от добавки находится в диапазоне 3,05...4,53 МПа, что соответствует допустимым значениям, необходимым для обеспечения механической прочности деталей кривошипно-шатунного механизма двигателя. При этом сгорание проходит спокойно, без резких нарастаний давления. В зависимости от добавки синтез-газа максимальная температура сгорания уменьшается на 4%, что, в свою очередь, положительно влияет на экологические показатели двигателя [11].

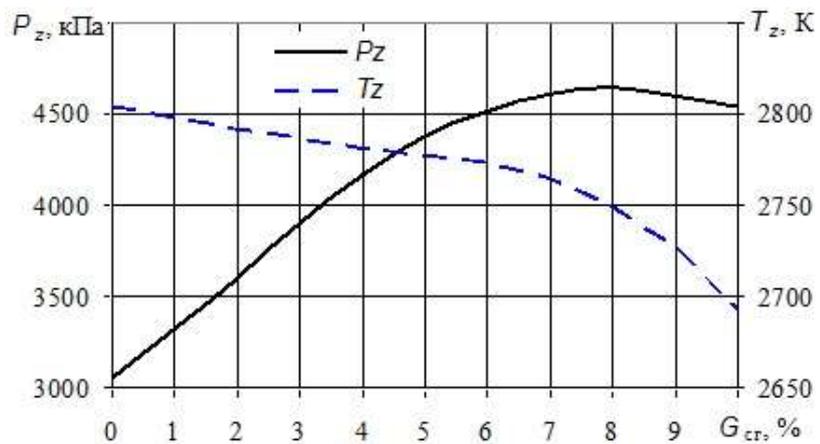


Рис. 5. Изменение максимального давления сгорания и температуры в зависимости от добавки синтез-газа к этанолу

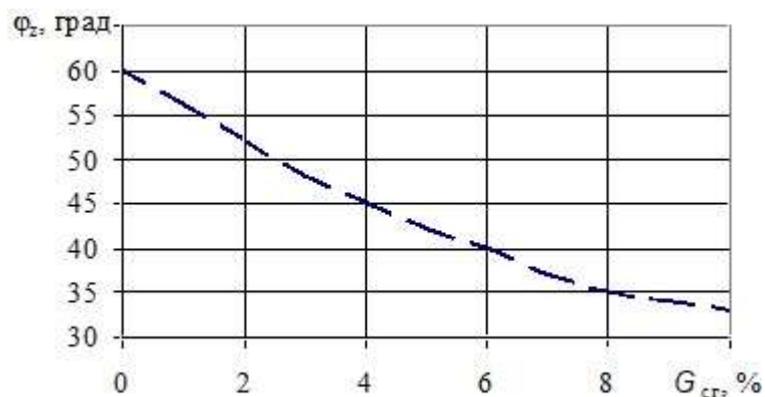


Рис. 6. Влияние величины добавки синтез-газа до этанола на продолжительность сгорания

Результаты

Установлено, что при работе двигателя на этаноле с добавками синтез-газа 1...10% наблюдается снижение индикаторной мощности на 10,6% и снижение удельной индикаторной расхода топлива на 11,7%.

Добавка синтез-газа к этанолу уменьшает общую продолжительность сгорания смеси. Так, при величине добавки синтез-газа к этанолу 10%, для ДВС 4Ч 10,16/9,1 продолжительность сгорания снижается на 45%.

Добавки синтез-газа к этанолу улучшают экологические показатели работы двигателя. Это, прежде всего, связано со снижением максимальной температуры сгорания на 4%, а также применением коэффициента избытка воздуха в пределах 0,98...1,2.

Список литературы

1. Дмитриев, И.М. Преимущества использования сжиженного природного газа на судах в качестве топлива / И. М. Дмитриев, Н. В. Бархударов, А. А. Мусатов // Вестник научных конференций. – 2017. – № 8-2(24). – С. 28-29. – EDN ZHZAGB.
2. Муртазина, В.А. Тенденции и перспективы развития судов на сжиженном природном газе / В. А. Муртазина, Т. М. Муртазин // XXV Туполевские чтения (школа молодых ученых): Международная молодёжная научная конференция, посвященная 60-летию со дня осуществления Первого полета человека в космическое пространство и 90-летию Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева-КАИ. Материалы конференции. Сборник докладов. В 6-ти томах, Казань, 10–11 ноября 2021 года. – Казань: Индивидуальный предприниматель Сагиева А.Р., 2021. – С. 348-351. – EDN YVYUGG.
3. Новиков, В.К. Научно-методические основы обеспечения экологической и пожарной безопасности судна водного транспорта, работающего на сжиженном природном газе / В. К. Новиков // Сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции «Современные научные исследования: актуальные проблемы и тенденции». «Речной Форум 2019», Омск, 19–20 декабря 2019 года / Министерство транспорта Российской Федерации Федеральное агентство морского и речного транспорта, Омский институт водного транспорта - филиал ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта». – Омск: Омский институт водного транспорта (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "Сибирский государственный университет водного транспорта", 2019. – С. 169
4. Рожков, М.А. Переход судов на сжиженный природный газ / М. А. Рожков, Е. А. Чабанов // Транспорт: проблемы, цели, перспективы (транспорт 2020): МАТЕРИАЛЫ ВСЕРОССИЙСКОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ, Пермь, 15 февраля 2020 года / Под редакцией Е.В. Чабановой. – Пермь: Пермский филиал Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "Волжский государственный университет водного транспорта", 2020. – С. 120-124. – EDN CAEMGO.-175. – EDN GCGHFV.
5. Волынцев А.В., Соболенко А.Н. Повышение энергоэффективности морского судна посредством использования природного газа и утилизации теплоты главного дизеля // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований: Материалы II Всероссийской национальной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2019. – С. 17-19. – EDN PRVPLX.
6. Степанов, М.Д. Особенности применения сжиженного природного газа на судах водного транспорта / М. Д. Степанов, В. К. Новиков // Будущее машиностроения России : Сборник докладов Двенадцатой Всероссийской конференции молодых ученых и специалистов (с международным участием), Москва, 24–27 сентября 2019 года. – Москва: Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет), 2019. – С. 654-656. – EDN MZWMIB.
7. Хасанов, И.И. Особенности бункеровки топлива для судов на сжиженном природном газе / И. И. Хасанов, А. Р. Гимаева // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. – 2017. – № 3. – С. 19-22. – EDN YWJKIR.
8. Дмитриев, И. М. Анализ использования и сжижения природного газа на судах / И. М. Дмитриев, Н. В. Бархударов, А. А. Мусатов // Вестник научных конференций. – 2017. – № 8-2(24). – С. 27-28. – EDN ZHZAFR.

9. Матуш, Д.И. Использование природного газа как альтернативного топлива для судов морского и речного транспорта / Д. И. Матуш // *Фундаментальные и прикладные научные исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации : сборник статей XIX Международной научно-практической конференции* : в 2 ч., Пенза, 15 января 2019 года. – Пенза: "Наука и Просвещение" (ИП Гуляев Г.Ю.), 2019. – С. 103-105. – EDN YTMUTL.
10. Афанасьев П.М. Применение пакета FDS для моделирования и исследования процессов горения сжиженного природного газа на судах // Молодежная школа-семинар по проблемам управления в технических системах имени А.А. Вавилова. – 2020. – Т. 1. – С. 4-8. – EDN KGVVFN.
11. Медведев, Г.В., Храмов, М.Ю. ВОЗДЕЙСТВИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ СУДОВЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК НА КАЧЕСТВО ИХ ОЧИСТКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА КАТАЛИТИЧЕСКОЙ НЕЙТРАЛИЗАЦИИ / Медведев, Г.В., Храмов, М.Ю. // *Научные проблемы водного транспорта*, (62), 167-174. <https://doi.org/10.37890/jwt.vi62.47>

References

1. Dmitriev, I.M. Preimushchestva ispol'zovaniya szhizhennogo prirodnogo gaza na sudakh v kachestve topliva / I. M. Dmitriev, N. V. Barkhudarov, A. A. Musatov // *Vestnik nauchnykh konferentsii*. – 2017. – № 8-2(24). – S. 28-29. – EDN ZHZAGB.
2. Murtazina, V.A. Tendentsii i perspektivy razvitiya sudov na szhizhennom prirodnom gaze / V. A. Murtazina, T. M. Murtazin // *XXV Tupolevskie chteniya (shkola molodykh uchenykh): Mezhdunarodnaya molodezhnaya nauchnaya konferentsiya, posvyashchennaya 60-letiyu so dnya osushchestvleniya Pervogo poleta cheloveka v kosmicheskoe prostranstvo i 90-letiyu Kazanskogo natsional'nogo issledovatel'skogo tekhnicheskogo universiteta im. A.N. Tupoleva-KAI. Materialy konferentsii. Sbornik dokladov. V 6-ti tomakh, Kazan', 10–11 noyabrya 2021 goda*. – Kazan': Individual'nyi predprinimatel' Sagieva A.R., 2021. – S. 348-351. – EDN YVYUGG.
3. Novikov, V.K. Nauchno-metodicheskie osnovy obespecheniya ehkologicheskoi i pozharnoi bezopasnosti sudna vodnogo transporta, rabotayushchego na szhizhennom prirodnom gaze / V. K. Novikov // *Sbornik trudov Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Sovremennye nauchnye issledovaniya: aktual'nye problemy i tendentsii»*. «Rechnoi Forum 2019», Omsk, 19–20 dekabrya 2019 goda / Ministerstvo transporta Rossiiskoi Federatsii Federal'noe agentstvo morskogo i rechnogo transporta, Omskii institut vodnogo transporta - filial FGBOU VO «Sibirskii gosudarstvennyi universitet vodnogo transporta». – Omsk: Omskii institut vodnogo transporta (filial) federal'nogo gosudarstvennogo byudzhethnogo obrazovatel'nogo uchrezhdeniya vysshego obrazovaniya "Sibirskii gosudarstvennyi universitet vodnogo transporta", 2019. – S. 169
4. Rozhkov, M.A. Perekhod sudov na szhizhennyi prirodnyi gaz / M. A. Rozhkov, E. A. Chabanov // *Transport: problemy, tseli, perspektivy (transport 2020): MATERIALY VSEROSIISKOI NAUCHNO-TEKHNICHESKOI KONFERENTSII, Perm', 15 fevralya 2020 goda / Pod redaktsiei E.V. Chabanovoi*. – Perm': Permskii filial Federal'nogo gosudarstvennogo byudzhethnogo obrazovatel'nogo uchrezhdeniya vysshego obrazovaniya "Volzhskii gosudarstvennyi universitet vodnogo transporta", 2020. – S. 120-124. – EDN CAEMGO.-175. – EDN GCGHFV.
5. Volyntsev A.V., Sobolenko A.N. Povyshenie ehnergoehffektivnosti morskogo sudna posredstvom ispol'zovaniya prirodnogo gaza i utilizatsii teploty glavnogo dizelya // *Molodezh' i nauka: aktual'nye problemy fundamental'nykh i prikladnykh issledovaniy: Materialy II Vserossiiskoi natsional'noi nauchnoi konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh. Komsomol'skii-na-Amure gosudarstvennyi universitet*, 2019. – S. 17-19. – EDN PRVPLX.
6. Stepanov, M.D. Osobennosti primeneniya szhizhennogo prirodnogo gaza na sudakh vodnogo transporta / M. D. Stepanov, V. K. Novikov // *Budushchee mashinostroeniya Rossii : Sbornik dokladov Dvenadtsatoi Vserossiiskoi konferentsii molodykh uchenykh i spetsialistov (s mezhdunarodnym uchastiem), Moskva, 24–27 sentyabrya 2019 goda*. – Moskva: Moskovskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet imeni N.EH. Baubana (natsional'nyi issledovatel'skii universitet), 2019. – S. 654-656. – EDN MZWMIB.

7. Khasanov, I.I. Osobennosti bunkerovki topliva dlya sudov na szhizhenom prirodnom gaze / I. I. Khasanov, A. R. Gimaeva // Transport i khranenie nefteproduktov i uglevodorodnogo syr'ya. – 2017. – № 3. – S. 19-22. – EDN YWJKIR.
8. Dmitriev, I.M. Analiz ispol'zovaniya i szhizheniya prirodnogo gaza na sudakh / I. M. Dmitriev, N. V. Barkhudarov, A. A. Musatov // Vestnik nauchnykh konferentsii. – 2017. – № 8-2(24). – S. 27-28. – EDN ZHZAFR.
9. Matush, D. I. Ispol'zovanie prirodnogo gaza kak al'ternativnogo topliva dlya sudov morskogo i rechnogo transporta / D. I. Matush // Fundamental'nye i prikladnye nauchnye issledovaniya: aktual'nye voprosy, dostizheniya i innovatsii : sbornik statei XIX Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii : v 2 ch., Penza, 15 yanvarya 2019 goda. – Penza: "Nauka i Prosveshchenie" (IP Gulyaev G.YU.), 2019. – S. 103-105. – EDN YTMUTL.
10. Afanas'ev P.M. Primenenie paketa FDS dlya modelirovaniya i issledovaniya protsessov goreniya szhizhennogo prirodnogo gaza na sudakh // Molodezhnaya shkola-seminar po problemam upravleniya v tekhnicheskikh sistemakh imeni A.A. Vavilova. – 2020. – T. 1. – S. 4-8. – EDN KGVVFN.
11. Medvedev, G.V., Khramov, M.Y. VOZDEISTVIE TEMPERATURY OTRABOTAVSHIKH GAZOV SUDOVYKH EHNERGETICHESKIKH USTANOVOK NA KACHESTVO IKH OCHISTKI S ISPOL'ZOVANIEM METODA KATALITICHESKOI NEITRALIZATSII / Medvedev, G.V., Khramov, M.Y. // Nauchnye problemy vodnogo transporta, (62), 167-174. <https://doi.org/10.37890/jwt.vi62.47>

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Матвеев Юрий Иванович, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой Эксплуатации судовых энергетических установок, Волжский государственный университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: matveeveseu@mail.ru

Yuri I. Matveev, Doctor of Technical Sciences, Professor, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, 603951, e-mail: matveeveseu@mail.ru

Лаптев Николай Александрович, аспирант кафедры Эксплуатации судовых энергетических установок, Волжский государственный университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: laptevlina@gmail.com

Nikolai A. Laptev, postgraduate student of the Department of Electrical Engineering and Electrical Equipment of Water Transport Objects, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, 603951, e-mail: laptevlina@gmail.com

Колыванов Владимир Викторович, к.т.н., доцент кафедры Эксплуатации судовых энергетических установок, Волжский государственный университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: v.v.kolyvanov@yandex.ru

Vladimir V. Kolyvanov, Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, 603951, e-mail: v.v.kolyvanov@yandex.ru

Храмов Михаил Юрьевич, к.т.н., доцент, доцент кафедры Эксплуатации судовых энергетических установок, Волжский государственный университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: m.u.hramov@yandex.ru

Mikhail Y. Khramov, Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, 603951, e-mail: m.u.hramov@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 27.03.2023; опубликована онлайн 20.06.2023.
Received 27.03.2023; published online 20.06.2023.