

СУДОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ, СИСТЕМЫ И УСТРОЙСТВА

УДК 621.436

О. К. Безюков,
д-р техн. наук, профессор,
ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова;

В. А. Жуков,
д-р техн. наук, профессор,
ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова;

О. И. Яценко,
аспирант,
ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова

ГАЗОМОТОРНОЕ ТОПЛИВО НА ВОДНОМ ТРАНСПОРТЕ

DUAL-FUEL ENGINES ON WATER TRANSPORT

В статье на основании поэтапного ужесточения требований Комитета по защите морской среды Международной морской организации (ИМО) в соответствии с Приложением VI МК MARPOL к выхлопным газам дизельных двигателей морских судов по содержанию в них оксидов серы (SO_x), азота (NO_x) и твердых частиц представлено несколько возможных путей решения. В статье приведены способы использования газового топлива и опасности, возникающие при использовании газомоторного топлива, которые необходимо учитывать при проектировании энергетических установок судов-газоходов. Представлена концепция создания технологической платформы для перевода водного транспорта на газомоторное топливо.

In the article on the basis of the gradual tightening of the requirements of the Committee for the Protection of the Marine Environment of the International Maritime Organization (IMO) in accordance with Annex VI MK MARPOL to the exhaust gases of diesel engines in marine vessels according to their content of sulfur oxides (SO_x), nitrogen (NO_x) and particulate particles presents several possible solutions. The article describes how the use of gas motor fuel and the dangers arising from the use of gas motor fuel, that must be considered when designing of the ship power plant. The article presents the concept of creating a technological platform for the use of natural gas on sea and river transport to reduce the emissions.

Ключевые слова: выхлопные газы, альтернативные виды топлива, парниковые газы, природный газ, биогаз, двухтопливные двигатели, экологические нормативы, технологическая платформа.

Key words: exhaust emission, alternative fuels, greenhouse gases, natural gas, biogas, dual fuel engines, ecological norms, technological platform.

В ТЕЧЕНИЕ длительного периода времени на судах морского и речного флота в качестве моторного топлива применяются различные жидкие углеводородные энергоносители (дизельное, моторное и газотурбинное топлива, флотский мазут), сгорание которых сопровождается выбросом в атмосферу токсичных соединений, оксидов углерода и твердых частиц, что оказывает существенное влияние на окружающую среду. По экспертным оценкам экономический ущерб от нерешенных проблем в области охраны окружающей среды и экологической безопасности в Российской Федерации достигает 10 % от стоимости внутреннего валового продукта.

В больших городах-портах источником основной части загрязнений воздушной среды является транспорт, в том числе водный [1], доля которой составляет 5–7 % от общего количества выбросов вредных веществ стационарных энергетических установок и наземных транспортных средств. Однако из-за большой агрегатной мощности судовые дизели могут являться основными

источником загрязнения атмосферы в таких локальных зонах, как порты, судоходные гидротехнические сооружения, акватории рек и каналов в черте города особенно в период летней навигации.

Эмиссия токсичных соединений и твердых частиц с отработавшими газами двигателей различного назначения регламентируется российскими и международными стандартами (Euro, IMO, TA-Luft и другие), требования которых к судовым дизелям приведены в табл. 1.

Таблица 1

Нормы выбросов с отработавшими газами судовых дизелей

Страна, стандарт, год введения	Нормируемый параметр	Значение нормы, г/(кВт·ч)	Классификационный признак, испытательная процедура
Россия, ГОСТ Р 51249, 2000	E_{NO_x} E_{CO} E_{CH}	9,8 – 17 3,0 1,0	Четырехступенчатые циклы (ISO 8178-4) $E_{NO_x} = f(n)$
Стандарт IMO, Techn.code - NO _x	E_{NO_x}	9,8 – 17	Четырехступенчатые циклы (ISO 8178-4) $E_{NO_x} = f(n)$
США, Marine st., 1998	E_{NO_x} E_{CO} E_{CH} E_C	11,4 6,2 1,3 0,54	Четырехступенчатые циклы

Выбросы вредных веществ энергетическими установками судов определяются на основе Международной конвенции по предотвращению загрязнения с судов (МАРПОЛ 73/78) [2]. Действующие в настоящее время нормы выбросов продуктов неполного сгорания, серы и оксидов азота энергетическими установками судов разработаны в 1997 г. и официально вступили в действие в 2007 г. В ближайшие годы следует ожидать ужесточения экологических требований к судовым дизелям прежде всего по содержанию в отработавших газах оксидов азота NO_x, снижение выбросов которых является одной из актуальных задач современного двигателестроения. Экологический ущерб, вызываемый работой тепловых двигателей, заключается не только в материальном загрязнении среды отработавшими газами, но и в выбросах в окружающую среду большого количества низкотемпературной (низкопотенциальной) теплоты.

Тепловое загрязнение приводит к различным климатическим аномалиям, которые уже в недалеком будущем могут приобрести глобальный и необратимый характер. Существенное влияние на данные процессы оказывает «парниковый эффект», приводящий к изменению характера лучистого теплообмена между поверхностью и приземной атмосферой вследствие увеличения содержания в ней диоксида углерода CO₂ [3]. Увеличение содержания CO₂, в первую очередь вызвано работой тепловых двигателей, потребляющих углеводородные виды топлива.

В 1988 г. Всемирная метеорологическая организация в соответствии с программой ООН по окружающей среде создала Межправительственную группу экспертов по изменению климата (МГЭИК) планеты, которая периодически публикует доклады об изменении климата и возможном влиянии этих изменений на различные виды хозяйственной деятельности. По данным МГЭИК «глобальное потепление» климата, начавшееся с середины 70-х гг. XX в., не вызывает сомнения [4], [5]. Вступившая в силу в 1994 г. Рамочная конвенция ООН об изменении климата (UN FCCC) и Киотский протокол 1997 г. установили обязательства для стран-участниц в отношении снижения выбросов CO₂.

В 1997 г. на Международной конференции сторон Международной конвенции по предотвращению загрязнения с судов (МАРПОЛ) была принята Резолюция 8 по «выбросам углекислого газа с судов», в которой Международной морской организации (ИМО) в сотрудничестве с Секретариатом Рамочной конвенции Организации Объединенных Наций (ООН) об изменении климата было предложено предпринять меры по изучению влияния выбросов парниковых газов с судов с целью установления количества и относительного процентного содержания выбросов углекислого газа

с судов в глобальном кадастре. В Резолюции А.963(23) «Политика и практика ИМО, относящаяся к сокращению выбросов парниковых газов с судов» 2003 г. отмечается, что доля выбросов парниковых газов в международном судоходстве составляет примерно 1,8 % мировых выбросов CO₂, а также констатируется, что сокращение этих выбросов может осуществляться посредством технических и эксплуатационных мер. На основании оценки, проведенной в 2007 г., доля выбросов парниковых газов в международном судоходстве уже составила примерно 2,7 % мировых выбросов CO₂. В качестве основной меры повышения эффективности судна в отношении выбросов парниковых газов было предложено ввести конструктивный индекс CO₂ (далее – конструктивный коэффициент энергетической эффективности). В период с 2008 по 2012 гг. развитые страны должны были сократить выбросы парниковых газов, как минимум, на 5 %. В дополнение к этому каждая страна брала обязательство снизить выбросы на фиксированную, но различную для каждой из них величину (страны ЕС – на 8 %, РФ – на 0 %). Следует отметить, что до 2008 г. эта проблема решалась добровольно.

Установленные требования фактически означают необходимость принятия следующих мер: снижение расхода топлива, которое неизбежно приведет к эквивалентному снижению выбросов с ОГ продуктов неполного сгорания топлива: сажи, углеводородов, оксидов углеводородов, бенз(а)пирена, формальдегида; использование новых источников энергии; применение альтернативных видов топлива.

Введение инструмента оценки эффективности энергоиспользования в форме конструктивного коэффициента энергетической эффективности и снижение расходов традиционных углеводородных топлив судовыми энергетическими установками можно рассматривать как первый этап снижения выброса парниковых газов. В 2010 г. на 61-й сессии Комитета по защите морской среды был отмечен значительный прогресс в решении проблемы снижения выбросов парниковых газов за счет разработки проекта обязательных Правил управления энергоэффективностью судов, в которых, в частности, устанавливаются требования конструктивного коэффициента энергетической эффективности и плану по управлению энергетической эффективностью судна.

Для дальнейшего снижения влияния морского и речного флота на качество окружающей среды необходима реорганизация энергоиспользования в судовых энергетических установках (СЭУ). При проведении такой реорганизации необходимо выполнить следующее:

- определить перспективные энергоисточники (виды альтернативных и перспективных видов топлива), способные заменить углеводородные виды топлива;
- оценить целесообразность использования этих видов топлива в различных сегментах водного транспорта с энергоэкологической точки зрения;
- разработать план организационных и технических мероприятий, необходимых для перевода СЭУ на газовое топливо.

Перспективными газообразными топливами следует считать природный газ и альтернативные виды топлива, представляющие собой химические соединения, не являющиеся продуктами переработки нефти.

К перспективным и альтернативным видам топлива в настоящее время относятся:

- природный газ – метан (CH₄);
- водород (H₂);
- биогаз на основе метана;
- сжиженные углеводородные газы: пропан (C₃H₈) и бутан (C₄H₁₀).

В странах Евросоюза к 2020 г. предполагается замена 23 % топлива на альтернативные виды, из них 10 % – на природный газ, 8 % – на биогаз и 5 % – на водород.

Для водного транспорта расширение применения природного газа представляется наиболее вероятным. Использование водорода и биогаза с учетом объемов их производства и особенностей получения может рассматриваться лишь в отдаленной перспективе. Известно, что природный газ

на 98–99 % состоит из метана. Исходя из этого определены [6] массовые доли компонентов продуктов сгорания и количество отработавших газов и диоксида углерода в них на 100 кВт мощности двигателя (табл. 2) при полном сгорании топлива.

Таблица 2

Состав продуктов сгорания различных видов топлива

Топливо	Элементарный состав		Массовые доли				Количество отработавших газов, кг/ч	Количество CO ₂ , кг/ч
	С	Н	g _{CO2}	g _{H2O}	g _{N2}	g _{O2}		
Дизельное	0,872	0,128	0,0700	0,0352	0,7424	0,1484	1015,128	71,94
Природный газ (метан)	0,75	0,25	0,0512	0,05162	0,748	0,149	1028,3	52,67

Характерной особенностью газового топлива является повышенное по сравнению с традиционными углеводородными видами топлива соотношение «водород – углерод» (табл. 3), что обеспечивает более высокое качество рабочего процесса и экологическую чистоту продуктов сгорания.

Таблица 3

Соотношение «водород – углерод» для различных видов топлива

Топливо	Химическая формула	Соотношение водород/углерод
Метан	CH ₄	4,0
Пропан	C ₃ H ₈	2,7
Бутан	C ₄ H ₁₀	2,5
Бензин	C _m H _n	2,0
Дизельное топливо	C _m H _n	1,8
Мазут	C _m H _n	1,7

Проведенное сравнение показывает, что применение в качестве топлива для двигателей внутреннего сгорания (ДВС) природного газа обеспечивает существенное сокращение количества вредных выбросов по сравнению с использованием топлива на основе нефти. При этом полностью исключаются выбросы серы, кардинально (на 90 %) снижаются выбросы оксидов азота (NO_x), снижение выбросов парниковых газов на эквивалентную мощность составляет 25 – 30 %, что является дополнительным аргументом в пользу перевода судовых двигателей на газовое топливо в свете современных экологических требований ИМО.

При реализации программы расширения использования газового топлива на водном транспорте Российской Федерации следует учитывать имеющийся мировой опыт, подтверждающий перспективность данного направления совершенствования СЭУ. В 1982 г. в Австралии было построено первое грузовое судно, работающее на сжатом газе, «Accolade», в 1985 и 1988 гг. в Канаде были спущены на воду однотипные паромы «Klatawa» и «Kulleet», на которых газ под давлением 25 МПа находился в 50 стальных баллонах общей вместимостью 14,7 м³, периодически пополняемых с помощью установленного на берегу компрессора, подключенного к городской газораспределительной сети. В 1994 и 2000 гг. в Голландии были построены прогулочные суда, работающие на сжатом природном газе (КПГ) «Mondriaan», «Escher», «Rembrandt» и «VanGogh». Из-за ограниченности допустимого объема емкостей, размещаемых в трюме судна без ущерба для его основных функций, а также в связи с необходимостью наличия в районе плавания специальной инфраструктуры для пополнения запасов топлива, КПГ не получил широкого применения на флоте.

Более перспективным представляется внедрение сжиженного природного газа (СПГ), поскольку он занимает в 2,5 – 3 раза меньше места [7]. Первым судном, не относящимся к классу газовозов и работающим на СПГ, явился построенный в 2000 г. в Норвегии паром «Glutra». В его двух подпалубных криогенных танках суммарной вместимостью 54 м³ размещается 10 т топлива, которого хватает на пять-шесть суток, а пополнение запасов осуществляется с помощью специального автомобиля-газовоза. В 2008 г. в Бразилии был спущен на воду грузопассажирский паром «Ivete Sangalo» на СПГ. Положительные результаты эксплуатации в Таиланде 12 контейнеровозов на СПГ, построенных в Китае в 2009–2010 гг., вызвали закономерный интерес со стороны международного бизнеса, вследствие чего китайские верфи получили заказ на создание еще 12 аналогичных судов.

Наибольшее распространение СПГ получил на судах, обеспечивающих освоение, эксплуатацию и снабжение морских нефтегазопромыслов. Только на морских месторождениях Норвегии судов такого типа задействовано порядка 20 единиц и их строительство продолжается [8]. По оценке специалистов норвежского классификационного общества DNV, проектируемое судно типа VLCC, использующее СПГ, будет обладать следующими преимуществами по сравнению с обычным танкером указанного класса: на 34 % более низкий уровень выбросов CO₂, на 80 % более низкий уровень выбросов NO_x, на 95 % – SO_x, на 25 % меньшее энергопотребление. К аналогичным заключениям пришли эксперты судостроительной компании «STX France». Японская компания «Oshima Shipbuilding Co» совместно с норвежским классификационным обществом DNV представила первые итоги реализации концепции «ECO-Ship 2020», в рамках которой разрабатывается проект балкера с большим процентом раскрытия палубы (ОНВС – Open Hatch Bulk Carrier). Преследуется цель создания судна с минимально возможным уровнем затрат на топливо, удовлетворяющего экологическим требованиям и одновременно являющегося максимально эффективным с точки зрения эксплуатации. За счет применения СПГ балкер не будет иметь выбросов SO_x и твердых частиц, на 90 % сократится NO_x и, как минимум, на 50 % – CO₂.

Крупной корпорацией по производству двигателей и другого оборудования, работающего на газомоторном топливе, является финская компания «Wärtsilä», которая имеет целую линейку двигателей, работающих не только на дизельном тяжелом топливе, но и на природном нефтяном газе и биогазе. Мировой флот судов СПГ стремительно растет для удовлетворения растущего спроса. Так, по состоянию на ноябрь 2010 г. в его составе было 360 судов СПГ. В стадии постройки при этом находилось еще 24 судна СПГ.

В 1984 г., в соответствии с постановлением Совета Министров СССР № 751, Минречфлот возложил на Ленинградский институт водного транспорта функции головной научно-исследовательской организации по решению вопросов использования газового топлива на речном транспорте. В результате в 1995 г. под руководством канд. техн. наук Н. Н. Фомина были выполнены успешные эксплуатационные испытания на природном газе первого в России пассажирского судна-газохода, созданного на базе т/х «Нева-1» (проект Р-35). В его создании принимали участие специалисты нашего вуза, АО «Инженерный центр судостроения», СПбГПУ, АО «Северо-Западное пароходство» и АОЗТ «Сигма-Газ».

Одним из наиболее перспективных направлений использования газового топлива в СЭУ является перевод на газомоторное топливо судов, работающих в черте города: прогулочных и экскурсионных судов, буксиров, теплоходов портового флота и лоцманских катеров. С одной стороны, именно для этих судов проблема экологической безопасности стоит особенно остро, а с другой – для их заправки топливом может быть использована городская газовая инфраструктура. Перспективным является также использование судов-газоходов в районах Сибири, Дальнего Востока и Крайнего Севера, где находятся предприятия по добыче природного газа и отсутствуют нефтеперерабатывающие предприятия, что вызывает трудность в обеспечении флота топливом нефтяного происхождения.

В России в 2006 г. в рамках проекта Сахалин-2 в поселке Пригородное на юге Сахалина был построен первый завод СПГ (запущен 18 февраля 2009 г.). Также планируется к созданию проект «Владивосток-СПГ» на полуострове Ломоносова (бухта Перевозная) в Хасанском районе и строи-

тельство завода в деревне Териберка в Мурманской области для транспортировки газа со Штокмановского месторождения потребителям в Атлантическом регионе. Активными темпами ведется реализация масштабного проекта по созданию в России крупного центра по производству СПГ на базе Южно-Тамбейского месторождения на Ямале и строительство морского порта в поселке Сабетта.

Расширение использования газового топлива на водном транспорте, целесообразное с экологической точки зрения и необходимое для удовлетворения современных требований ИМО, делает необходимым создание методологии проектирования СЭУ, предназначенных для работы на газомоторном топливе, при этом особое внимание следует уделять вопросам безопасности.

В работе [9], представленной Морской администрацией Дании на 83-й сессии Комитета по безопасности на море Международной морской организации ИМО, приводится анализ аварийности на газовозах в течение периода 1965 – 2005 гг., в течение которого на судах данного класса было зафиксировано 182 аварийных случая, из которых 24 случая не связаны с эксплуатацией судна (аварии на верфях во время постройки и ремонта, нападения пиратов и т.п.). Исходя из статистики аварий, приводятся следующие виды опасностей, обусловленных наличием на судне СПГ и его паров:

1 – объемный взрыв газа, возникающий в результате его утечки в газообразном состоянии в замкнутом объеме при наличии источника воспламенения (источником воспламенения может служить открытое пламя, электрическая искра или горячая поверхность с температурой выше температуры самовоспламенения (для метана – 540 °С));

2 – взрыв емкостей для хранения газа в результате повышения давления;

3 – пожар в результате горения разлившегося газа или струйный пожар в результате горения газа под давлением;

4 – газовое облако, в котором может возникнуть пожар.

5 – быстрое фазовое превращение при попадании сжиженного газа в воду, аналогичное взрыву без возгорания;

6 – «rollover» – резкое значительное увеличение давления в емкости для жидкого газа в результате перемешивания слоев газа с различной плотностью и резкого увеличения интенсивности парообразования в танке СПГ;

7 – удушье в результате попадания человека в облако газа;

8 – травмы от низких температур в результате воздействия сжиженного газа при контакте с кожей человека;

9 – загрязнение атмосферы в результате утечки газа.

При рассмотрении этих опасностей применительно к судам, использующим газовое топливо, очевидно, что для различных типов энергоустановок и различных способов хранения газа на судне не все опасности одинаково значимы. Например, при хранении газа в баллонах под давлением в закрытом помещении опасности пп. 5, 6 и 8 отсутствуют, но увеличивается вероятность реализации опасности пп. 1 и 7. В случае хранения газовых баллонов на открытых участках вероятность возникновения опасностей пп. 1 и 7 существенно снижается, но при этом повышается вероятность опасности п. 9.

Следует отметить, что наибольшую опасность представляют аварии, связанные с утечкой газа, вызывающей пожары и взрывы. Риск возникновения указанных опасностей необходимо учитывать при выборе способа хранения и использования газового топлива на судне при проектировании его энергетической установки. Имеющийся опыт использования газомоторного топлива на водном транспорте свидетельствует о том, что наиболее перспективным является применение СПГ, поэтому конструкции емкостей для его хранения и местам их расположения должно уделяться особое внимание.

Известны три основных способа использования газомоторного топлива в поршневых ДВС:

– реализация рабочего цикла, приближенного к циклу Отто, с внешним смесеобразованием и последующим сжатием газозооушной смеси в цилиндре с воспламенением от искры;

– двухтопливные, работающие по циклу, приближенному к циклу Отто, с воспламенением топлива, подаваемого в цилиндр двигателя;

– двухтопливные, работающие по циклу, приближенному к циклу Дизеля, со сжатием в цилиндре двигателя воздуха и впрыском газового и дизельного топлива.

Для СЭУ наиболее рациональным является применение газодизельного цикла, который может реализовываться как с внешним, так и с внутренним смесеобразованием.

При внешнем смесеобразовании из впускного коллектора в цилиндры дизельного двигателя поступает газозвдушная смесь, сжимаемая в цилиндре. В конце такта сжатия в цилиндр впрыскивается небольшое количество дизельного топлива, которое необходимо вследствие того, что давление в конце сжатия не обеспечивает достижения температуры самовоспламенения метана, составляющей 650–720 °С и значительно превышающей температуру самовоспламенения дизельного топлива (320–380 °С). Такой способ воспламенения, обеспечивающий возможность быстрого перехода с газового топлива на дизельное и обратно, реализован фирмой «Wärtsilä» в двухтопливном двигателе 20DF. У быстроходных дизелей расход дизельного топлива, используемого для воспламенения и полного сгорания газозвдушной смеси (пилотного), составляет 10–20 % от количества, расходуемого при обычном дизельном процессе. В средне- и малооборотных дизелях для воспламенения требуется 5–8 % дизельного топлива. Созданы опытные модели двигателей, использующие 1 % пилотного топлива и работы по дальнейшему уменьшению его количества продолжаются.

Газодизельный цикл с внутренним смесеобразованием при непосредственном впрыске газа в цилиндр предпочтительнее по сравнению с газодизельным циклом с внешним смесеобразованием, так как степень сжатия в нем не ограничена вероятностью возникновения детонации газозвдушной смеси в процессе ее сжатия в цилиндре. Основной проблемой внутреннего смесеобразования является необходимость подачи газа в цилиндр под высоким давлением, что делает вероятность утечки газа значительно выше, чем при использовании двигателя с внешним смесеобразованием. Газодизельный процесс с внутренним смесеобразованием с непосредственным впрыском газа в цилиндр реализован фирмой MAN в двигателе L51/60DF, в конструкции которого предусмотрен впрыск в цилиндр газа и дизельного топлива, причем минимально необходимое количество пилотного дизельного топлива уменьшено до 1 % от общего потребления. Помимо экономии дизельного топлива уменьшение пилотной дозы обеспечивает снижение выбросов оксидов азота. Эмиссия NO_x при работе на газовом топливе двигателем L51/60DF составляет 1,5 г/(кВт·ч), что полностью соответствует требованиям Прил. VI к МК МАРПОЛ 73/78 (уровень Tier III) для особых районов контроля выбросов оксидов азота.

Проведенный анализ свидетельствует о целесообразности продолжения работ по созданию отечественных конкурентоспособных судов-газоходов и подготовке предложений по переводу водного транспорта на газомоторное топливо. ФГБОУ ВПО «Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова» подготовлены предложения по разработке технологической платформы – межотраслевой научно-производственной программы «Водный транспорт на газомоторном топливе». Создание технологической платформы обеспечит координацию исследований и разработок по внедрению газомоторного топлива на водном транспорте и тиражирование экономических, организационных, правовых, технических и технологических инноваций, обеспечивающих перевод водного транспорта на газомоторное топливо.

Технологическая платформа включает следующие основные направления:

– разработка предложений по созданию экономических, организационных и правовых условий по стимулированию отраслевых организаций для использования газомоторного топлива;

– выбор и обоснование целесообразности применения компримированного, сжиженного природного или углеводородного газа в зависимости от типа судов, их грузоподъемности, автономности и бассейна плавания, а также видов наземного оборудования;

– разработка методики оценки энергоэкологической эффективности, научно-технического уровня и качества газовых, газодизельных, двухтопливных главных и вспомогательных двигате-

лей и газового оборудования судов и наземных транспортных средств, производимых российскими и зарубежными предприятиями;

– разработка предложений по созданию унифицированного мощностного ряда дизельных энергетических установок судов-газоходов;

– разработка предложений по созданию схем и выбору унифицированного оборудования для бункеровки судов газомоторным топливом, обеспечение его унификации в соответствии с международными требованиями;

– выбор методов, контрольно-измерительных приборов и разработка инструкций по обеспечению пожаро- взрывобезопасности судов-газоходов, бункеровочных баз и судов-бункеровщиков;

– разработка предложений по совершенствованию Правил морского и речного регистров, а также технических регламентов;

– согласование программ использования газомоторного топлива на водном транспорте с аналогичными программами на других видах транспорта и экономики РФ в целом;

– разработка программ осуществления подготовки и переподготовки кадров для эксплуатации газового оборудования на судах-газоходах и бункеровочных базах.

Таким образом, проведенный анализ свидетельствует о том, что широкое внедрение использования газомоторного топлива на водном транспорте является целесообразным и актуальным в свете современных экологических нормативов и требований, предъявляемых ИМО. Для решения данной задачи необходимо совершенствование методологии проектирования судов различного назначения (газовозы, буксиры, пассажирские) с комбинированными энергетическими установками, что позволит ускорить процесс модернизации существующих и строительства новых судов, работающих на газомоторном топливе и отвечающих всем современным требованиям.

Конвертацию судовых ДВС в газовые и газодизельные двигатели на российских дизелестроительных заводах целесообразно осуществлять в рамках реализации подпрограммы «Создание и организация производства в Российской Федерации в 2011 – 2015 гг. дизельных двигателей и их компонентов нового поколения», финансируемой Минпромторгом.

В результате проведенного анализа можно сделать вывод о том, что использование СПГ позволит не только снизить вредное воздействие на атмосферу портовых акваторий и водных путей в соответствии с экологическими требованиями ИМО, но и сократит эксплуатационные затраты и себестоимость перевозок.

Список литературы

1. Котиков Ю. Г. Транспортная энергетика: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений/ Ю. Г. Котиков, В. Н. Ложкин. – М.: ИЦ «Академия», 2006. – 272 с.

2. Международная конвенция по предотвращению загрязнений с судов (МАРПОЛ 73/78). – Кн. 3, прил. VI. Предотвращение загрязнения атмосферы судами. – СПб.: ЗАО ЦНИИМФ, 2000. – С. 1–281.

3. Парниковый эффект, изменение климата и экосистемы / Под ред. Б. Болисы, Б. Р. Деева, Дж. Ягера, Р. Уоррики; Пер. с англ. под ред. М. Я. Антоновского и др.– Л.: Гидрометеиздат, 1989. – 557 с.

4. Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме – М.: Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Госгидромет). – Т. 1: Изменения климата, 2008. – 230 с.

5. Мировое (глобальное) потепление на планете Земля [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: <http://www.worldwarming.info/printout253.htm>.

6. Хачиян А. С. Сравнительная оценка выбросов двуоксида углерода различными двигателями / А. С. Хачиян // Перспективы развития энергетических установок для автотранспортного комплекса: сб. науч. тр. МАДИ (ТУ). – М., 2006. – С. 4–9.

7. Бармин И. В. Сжиженный природный газ вчера, сегодня, завтра / И. В. Бармин, И. Д. Кунис. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2009. – 256 с.

8. Власов А. А. Придет ли природный газ на смену мазуту? [Электронный ресурс] / Электронные данные. – Режим доступа: http://www.korabel.ru/news/comments/prid_t_li_prirodniy_gaz_na_smenu_mazutu.htm

9. MSC 83/INF.3 «FSA – Liquefied Natural Gas (LNG) Carriers Details of the Formal Safety Assessment», IMO, 2007.

УДК 621.314

А. В. Григорьев,
канд. техн. наук,
ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова;

В. Ю. Колесниченко,
аспирант,
ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ СУДОВЫХ ДИЗЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

IMPROVING THE EFFICIENCY OF MARINE DIESEL POWER PLANTS

Приведены опытные данные загрузки дизель-генераторных агрегатов нефтяного танкера. Показано, что данные агрегаты работают при переменной нагрузке, режим их работы необходимо оптимизировать. Важной задачей является сохранение постоянства частоты переменного напряжения при изменении нагрузок. Выполненный анализ загрузки основного и вспомогательных дизель-генераторов показал, что для большинства режимов их работы происходит либо перегрузка основного генератора, либо при параллельной работе нескольких генераторов их общая нагрузка снижается до 50 %. Анализ нагрузочных характеристик дизеля показал, что минимум расхода топлива приходится при его частичной нагрузке. В статье предложен метод повышения эффективности работы дизель-генераторных электростанций при переменной частоте вращения вала двигателя за счет стабилизации частоты электрической энергии до необходимого значения, реализованного в виде полупроводникового преобразователя частоты, состоящего из выпрямителя и инвертора напряжения. Экономия топлива в данном случае может достигать 20 %.

Given experimental data of load diesel-generator sets, oil tankers. Is shown that these units operate at variable load, the mode of operation must Opti-myzerowaste. An important task is to maintain the constancy of the frequency of the AC voltage when changing loads. The analysis of the loading of the main and auxiliary diesel generators showed that for most of their operation is either overload the main generator, or when the parallel operation of multiple generators of their total load is reduced to 50 %. Analysis of load characteristics of a diesel engine showed that the minimum fuel consumption accounts for partial load. A method of increasing the efficiency of diesel generator power at a variable frequency motor shaft rotation due to frequency stabilization of electric power to the required values, implemented as semiconductor frequency Converter consisting of a rectifier and voltage source inverter. Fuel economy in this case can reach 20 %.

Ключевые слова: дизель-генератор, электростанция, нагрузка, частота.

Key words: diesel-generator, power plant, load, frequency.