

СУДОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ, СИСТЕМЫ И УСТРОЙСТВА

DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-5-134-144
УДК 629.123.56

**И. И. Костылев,
Д. В. Коняев**

БУНКЕРОВКА КАК ФАКТОР СДЕРЖИВАНИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ГАЗОВОГО ТОПЛИВА НА СУДАХ

В статье рассматривается вопрос о бункеровке судов сжиженным природным газом, используемым в качестве судового топлива. Отмечается, что экономическая и экологическая составляющие предопределяют расширение применения газа в качестве топлива на судах. Морское судоходство наносит большой вред окружающей среде. Суда сжигают тяжелое топливо и выделяют большое количество частиц сажи, оксиды серы и оксиды азота, которые опасны как для здоровья, так и для окружающей среды. При этом негативный баланс оксида углерода составляет приблизительно 1 млрд т или 4,5 % мирового выброса двуоксида углерода. Борьба за нулевые выбросы идет по всем направлениям. С 2015 г. ограничено содержание серы в судовом топливе. В 2016 г. для новых судов ограничено содержание оксидов азота. Использование сжиженного природного газа в качестве топлива главных судовых двигателей, а также для производства электроэнергии с целью обеспечения нужд на судах во время стоянки в портах позволяет сдерживать рост загрязнения и выполнять ужесточающиеся экологические ограничения Международной морской организации (ИМО), действующей под эгидой ООН. Экологический аспект перехода на использование сжиженного природного газа является определяющим при выборе конкретного пути выполнения требований конвенции MARPOL. Экономические преимущества сжиженного газа позволяют в приемлемые сроки окупить затраты на приспособление судна к работе на СПГ, технологическое оборудование и стоимость бункеровки. Достаточно серьезной проблемой является вопрос создания инфраструктуры по бункеровочным операциям. Делается вывод по предпочтительности использования судов-бункеровщиков как более мобильные и безопасные средства для доставки газового топлива от береговых хранилищ или судов-накопителей. Приводятся примеры строительства специальных судов и терминалов.

Ключевые слова: СПГ, суда-газовозы, природный газ, бункеровка судов, СПГ терминалы и суда, судно-бункеровщик, газотопливное судно, криозаправщик, MARPOL, экология, выбросы, индекс конструктивной энергетической эффективности.

Введение

Начало тенденции, связанной с экономией, с одной стороны, и с появлением на промышленном рынке большого объема природного газа — с другой, относится к 80-м гг. XX в. В сжатом до 5 – 7 бар состоянии он под названием компримированного газа использовался как топливо в четырехтактных дизелях наряду с запальным нефтяным топливом. В наше время мировое дизелестроение в большей его части, включая и дизелестроительные заводы, выпускающие мощные малооборотные крейцкопфные дизели, отработывают и поставляют на рынок конструкции для работы на двойном топливе. Авангардной в этом направлении была и остается компания Вяртсиля, которая выпустила уже сотни двухтопливных двигателей.

Вопросы топливоиспользования всегда находятся в центре внимания разработчиков судовой энергетики, а с внедрением в индустрию судоходства газозовов применение газа в качестве топлива стало весьма популярным. При транспортировке природного газа в жидком состоянии неизбежным является образование пара, утилизация которого может идти путем его реконденсации и возвращения в груз или подачи к двигателям и котлам в качестве топлива (второе решение более экономично и экологически оправданно). Перевод судовой энергетики на газ для судов, не являющихся газозовами, тоже уже является практически решенным вопросом. Однако, если сам процесс

сжигания отработан фирмами-строителями дизелей и котлов, то размещение бункера на судне и получение газового топлива на борт судна еще находится в процессе внедрения и разработки.

Газ как судовое топливо и его бункеровка

Применение природного газа для бункеровки судов имеет достаточно давнюю историю. Еще в середине 30-х гг. XX в. в СССР было зафиксировано первое в истории водного транспорта массовое использование газового топлива на речных буксирах. К 1 января 1941 г. в СССР на газе работал целый флот. Более 450 речных судов разного назначения были оборудованы газогенераторными установками МСВ-84 для серийного тракторного двигателя ЧТЗ-С-60 мощностью до 120 л. с. [1]. Начиная с 80-х гг. XX в. в ряде стран осуществлялись отдельные проекты по газификации морских и речных судов компримированным природным газом (КПГ). Первым из таких судов принято считать каботажное грузовое судно AccoladeII дедвейтом 8140 т, построенное в Австралии в 1982 г. с газодизельной силовой установкой. В 1985 и 1988 гг. в Ванкувере (Канада) начали работать паромы «Klatawa» и «Kulleet», перевозившие по 146 пассажиров и 26 автомобилей. Природный газ хранился в пятидесяти стальных баллонах общим объемом вместимостью 14,7 м³ под давлением 250 атм. Бункеровка паромов осуществлялась от городской распределительной сети через трехступенчатый компрессор.

В Норфолке (Вирджиния, США) в 1995 г. начал работать паром «Elisabeth River I», рассчитанный на перевозку 149 пассажиров, особенностью которого было то, что газодизельная силовая установка приводила в действие кормовой колесный движитель. В Нидерландах перевели на КПГ речные прогулочные суда «Mondriaan» и «Escher» в 1994 г., а затем в 2000 г. — суда «Rembrandt» и «VanGogh». Начиная с 90-х гг. XX в. в Италии периодически демонстрируют скоростные катера на КПГ. В Российской Федерации вернулись к теме использования метана на судах после длительного перерыва только в середине 90-х г. XX в.

В 1994 – 1997 гг. в Санкт-Петербурге и Москве были успешно проведены эксплуатационные испытания газодизельных пассажирских теплоходов проектов Р-35 «Нева» и Р-51 «Москва». Главные двигатели типа ЗДб опытных теплоходов работали по газодизельному циклу. Запальная доза дизельного топлива составляла 30 %, что по тем временам на механических системах управления подачей топлива считалось приемлемым. Однако существенного экологического преимущества такие системы не давали. Газовые баллоны размещались на палубе надстройки в районе 57 – 61 шпангоутов по правому и левому борту в двух контейнерах по шестнадцать 50-литровых баллонов с общим запасом газа, рассчитанных на 20 ч работы. Каждая группа баллонов использовалась для питания одного двигателя. В разработке этих проектов принимали активное участие сотрудники Инженерного центра судостроения — правопреемника ЦКТБ Минречфлота РСФСР.

Газовая арматура располагалась вне машинного отделения. Система газового топлива обеспечивала автоматический перевод работы главных двигателей с газового топлива на дизельное и ручной перевод работы главных двигателей с дизельного топлива на газовое. Для обеспечения работы двигателя на дизельном и газодизельном топливе также предусматривалась система управления аварийно-предупредительной сигнализацией и защиты. Опытная эксплуатация судов-газовозов показала, что использование природного газа в качестве моторного топлива на судах внутреннего водного транспорта возможно и целесообразно.

С развитием освоения газовых месторождений и транспортировки сжиженного природного газа (СПГ) танкерным флотом неизбежно образующийся пар при испарении груза стали использовать в качестве топлива. Транспортировка газа морским транспортом предопределяла внедрение такой технологии, как альтернатива реконденсации. Однако в последние годы использование газозовов и, соответственно, спрос на установки, работающие на газовом топливе, является достаточно нестабильным.

По информации газеты «Морские вести России» в 2012 г. стоимость фрахта танкеров-газовозов составляла 155 тыс. долл. в сутки, а в середине 2016 г. она снизилась до 25 тыс. долл. Причины здесь могут быть самые различные — это и перераспределение рынка экспорта и импорта, и из-

менение ранее запланированных направлений транспортировки углеводородов и, как следствие, появление избыточных мощностей. Число простаивающих газозов, по предварительным прогнозам специалистов, сохранится и в 2017 г. [2].

Безусловно, логично отметить, что рассматривая использование газового топлива на судах, речь идет, прежде всего, о газозовах, где отсутствует необходимость наличия специальных емкостей для бункерных запасов. Газ идет из грузовых танков в виде выпара, т. е. испаряющейся части газа. Однако по прогнозным данным к концу 2018 г. мировые мощности по производству СПГ возрастут на 45 %, и будет задействован флот газозовов, включая вновь строящиеся суда [2]. Таким образом, доля газа в общем объеме топлива, сжигаемого в судовых установках, увеличится. Кроме экономических аспектов в данном случае очень важны и экологические. Теплотехнические аспекты процесса сжигания газа в судовых установках (двигатели, котлы) хорошо анализируются и преимущество газа не вызывает сомнения [3], [4]. Однако при этом остается нерешенным вопрос о том, где хранить на судне и где брать газовое топливо.

Бывшие всегда актуальными проблемы энергосбережения (по существу, экономия топлива) и защиты окружающей среды от вредных выбросов с судов за последнее десятилетие еще более обострились в связи с неустойчивостью мирового нефтяного рынка и ужесточением требований природоохранных организаций, включая новые положения ИМО в соответствующих разделах Международной конвенции по предотвращению загрязнения с судов (МАРПОЛ 73/78, Прил. VI, Классы II и III). Особое внимание ИМО уделяет разработке стандарта EEDI (Energy Efficiency Design Index) как в его общем определении, так и в толкованиях его составных частей, их характеристик вместе с методами и техническими средствами количественного определения в различных случаях конструкционного исполнения судов, их размерений и назначения [5]. Например, еще во второй половине 2011 г. постановлением ИМО была создана рабочая группа под председательством японского представителя Mr. Koishida Yoshida, в которую вошли специалисты от правительств 26 стран, в том числе и от Российской Федерации, для обсуждения и принятия норм и способов оценки соответствия им на судах мирового флота и, в частности, норм выброса с них в атмосферу GHG (Greenhouse Gas — в основном углекислый газ с отдельной оценкой NO_x и SO_x).

Следует отметить сложность самого понятия «энергетическая эффективность судна». В первоначальном и общем представлении оно может быть выражено отношением чистой полученной выручки за контрактный рейс к денежной сумме всех понесенных в нем затрат. Поскольку условия транспортировки могут быть различны, то для начальной («построечной») оценки уровня EEDI могут быть определены при некоторых «стандартных» условиях. Однако это немного и лишь формально упростит задачу. В данном случае собственно энергетическая эффективность судна в нормальных условиях его хода определяется простой формулой для безразмерной величины на шкале:

$$\text{EEDI}_{\text{усл}} = \frac{Rv}{g_{e(c)} P_{e\Sigma} Q_n^p},$$

где R , кН — буксировочное усилие; v , м/с — скорость хода; $g_{e(c)}$, кг/(Вт·с) — удельный секундный расход топлива на все энергопроизводящие установки, работающие на исследуемом номинальном режиме общей мощностью $P_{e\Sigma}$; Q_n^p , Дж/кг — низшая теплотворная способность топлива.

Приведенная формула легко используется для учета в знаменателе подробного состава судовой энергетической установки с конкретными значениями трех множителей для каждого агрегата, в том числе с учетом его относительного времени работы, нагрузки и вида топлива. Решением этих проблем по-настоящему занимаются все судоходные компании. Но главным образом и наиболее эффективно в настоящее время они решаются на уровне судостроения при его государственном регулировании с активным участием в нем передовых классификационных обществ (ABS, DNV, Lloyd и др.) во главе с МАКО (Международная ассоциация классификационных обществ). При этом следует отметить, что первое направление новаций в области топливоиспользования (снижения его расхода) касается всего мирового флота, второе — природоохранное направление — в значительно большей степени относится к двигателям судов внутреннего и прибрежного

плавания. Сближает их в настоящее время одно: в обоих случаях наиболее эффективным способом решения проблемы является интенсивное внедрение природного газа в качестве основного топлива в судовой энергетике. Нет необходимости говорить о целесообразности применения газового топлива на других типах судов, не являющихся газовозами. Применение газового топлива способствует выполнению ужесточающихся требований по экологии, а также дает возможность снизить затраты на топливо [6]. Опыт эксплуатации газовозов, на которых используется газ как топливо, убедительно подтверждает целесообразность такого подхода [7].

Основными проблемами увеличения масштабов использования газа на судах являются вопросы организации бункеровки и прежде всего использование емкостей хранения газа на судах и бункеровочных терминалах. В настоящее время уже существуют и используются системы хранения запаса СПГ в танках (баллонах) специальной конструкции, максимально удобным образом вписывающиеся в обводы судна без ущерба для его вместимости. Чаще всего применяются контейнеры-цистерны. На рис. 1 приведен внешний вид находящегося в эксплуатации круизного лайнера с расположением баллонов большой емкости в кормовой части судна.



Рис. 1. Расположение контейнеров-цистерн с газовым топливом

Технических трудностей с применением газового топлива на судах, а также нормативных ограничений в Правилах Российского морского регистра и Российского речного регистра по применению газового топлива на судах в настоящее время нет. Главным препятствием на пути широкого применения газа в качестве топлива на морских судах является отсутствие инфраструктуры по бункеровке судов газовым топливом. Это особенно важно для судов с короткими переходами. Поэтому возникла объективная острая потребность в судах-бункеровщиках СПГ. Кроме того, с учетом роста потребления и популярности СПГ существует потребность в фидерных перевозках относительно небольших (по меркам рынка) партий СПГ и на судах, способных круглогодично выполнять такие перевозки между местными портами в пределах Европы.

Необходимо отметить, что на сегодняшний день в мире имеется в эксплуатации бункеровщик СПГ — шведский «Sea Gas», работающий в порту Стокгольма, а фидерные газовозы СПГ емкостью менее 100000 м³ можно считать единичными [8]. Для остальных бассейнов (в первую очередь для Дальневосточного) требуется судно, пригодное для использования в качестве как бункеровщика СПГ, так и фидерного газовоза СПГ. Назначением такого судна помимо бункеровки газотопливных судов, могут быть перевозки небольших партий СПГ как для нужд местной и региональной газификации, так и в порядке региональной торговли экспортными энергоносителями на рынках Японии, КНР и Южной Кореи.

Уместно отметить, что эту задачу по Дальневосточному бассейну уже решают компании «Газпром» и «Mitsui». Председатель правления ПАО «Газпром» А. Миллер и директор-представитель, председатель Совета директоров «Mitsui & Co., Ltd» М. Иидзима в период работы Восточного экономического форума во Владивостоке в августе 2016 г. подписали Меморандум

о взаимопонимании. Документ отражает намерения сторон по совместному проведению технико-экономического и маркетингового анализа бункеровки морского транспорта сжиженным природным газом на территории Дальнего Востока России и Азиатско-Тихоокеанского региона. Такой высокий уровень рассмотрения проблемы бункеровки подчеркивает исключительную важность вопроса [9].

Наиболее развитой инфраструктурой для бункеровки судов, использующих СПГ, исторически обладает Норвегия. Несколько бункеровочных терминалов СПГ планируется к открытию в Швеции, Финляндии, Германии, Голландии, Бельгии, Великобритании, а также на Средиземном Море во Франции, Испании, и Греции. Вне Европы бункеровка СПГ осуществляется в США, Китае, Сингапуре, Южной Корее.

Существующие прогнозы спроса и предложения СПГ даже на ближайшее будущее весьма противоречивы и могут существенно различаться. Главной причиной, возможно, является то, что такие сегменты рынка сжиженного метана, как автономная газификация, заправка автомобилей и бункеровка судов, пока еще только формируются, имеют нестабильный характер и невысокую степень предсказуемости. Кроме того, для достоверных прогнозов порой просто не хватает исходной информации.

По сводной оценке нескольких специализированных организаций, минимальный и максимальный сценарии развития спроса СПГ отличаются в разы. Тем не менее имеются основания полагать, что к 2025 г. сегмент бункеровочного топлива в общем объеме газомоторного рынка составит около 25 млрд м³. К основным игрокам рынка СПГ в качестве судового топлива, кроме политиков и инвесторов, следует относить владельцев морских и речных судов, транспортные компании, судостроителей, портовые власти, девелоперов инфраструктуры, поставщиков криогенной техники и оборудования. По различным оценкам, общий спрос морского и речного транспорта на бункеровочный СПГ в Европе к 2030 г. может оцениваться в 20 – 27 млрд м³ в год, в том числе в бассейнах Балтийского и Северного моря в 10 – 14 млрд м³ в год. Опыт эксплуатации судов с паротурбинными установками не оставляет сомнений, что перспективы использования газа на судах весьма убедительны [10].

По мнению экспертов Классификационного общества DNV GL, в более приближенной перспективе (в 2020 г.) мировой флот судов-контейнеровозов типа Emma Maersk вместимостью 15 000 TEU может составить 1000 единиц. Мощность силовой установки этих судов равна 80 000 кВт, скорость 25 уз, расход топлива (с содержанием серы от 2,5 до 4,5 %, что подпадает под ограничения): часовой — 14 т, суточный — 300 т, годовой ≈ 97 тыс. т (около 70 тыс. т СПГ). Таким образом, глобальная годовая потребность 1000 подобных судов может составить 70 млн т СПГ в год. Поставки СПГ могут производиться с берегового терминала или с бункеровочных судов. Это могут быть баржа или небольшой танкер. Какой метод поставки СПГ будет развиваться в порту и зависит от того, является ли источник СПГ локальным по отношению к порту или находится на расстоянии.

Вопросы безопасности операций, таких как одновременные грузовые операции и другие виды опасной деятельности, которые происходят на причале или стоянке во время бункеровки, также оказывают влияние на решение вопроса о том, будет ли поставка бункера СПГ осуществляться с берега или с судна-бункеровщика, пришвартованного к судну, находящемуся у причала или на якорной стоянке. Вся сеть снабжения СПГ: от источника газа до судна, может включать в себя множество методов транспортировки. Безусловно, технология бункеровки будет различной в зависимости от способа доставки газа. В случае использования стационарных сооружений обеспечивается подсоединение бункеровочной линии судна непосредственно к трубопроводам на причале. СПГ в данном случае хранится в резервуаре, расположенном в порту или поблизости от него.

Автомобильные цистерны позволяют бункеровать судно с причала не оборудованного терминалом СПГ. Подсоединение автоцистерны на причале к судну производится шлангами. Альтернативой может быть использование стандартных танк-контейнеров вместо топливных танков суд-

на. После расходования топливные танк-контейнеры заменяются на заправленные. Заправленные танк-контейнеры могут быть доставлены на судно автомобильным или железнодорожным транспортом, а израсходованные танк-контейнеры возвращены для заправки. Такая процедура может сократить общую продолжительность бункеровки.

Преимуществом использования судна-бункеровщика СПГ, пришвартованного к борту принимающего судна, находящегося в порту или на якорной стоянке, является изоляция бункерных операций от грузовых причалов, что снижает их влияние на грузовые операции в порту и уменьшает последствия возможных аварий, связанных с использованием СПГ. Типичное судно-бункеровщик СПГ имеет больший район снабжения топливом, чем баржа-бункеровщик, и большую вместимость. Суда-бункеровщики СПГ имеют конструкцию и эксплуатируются в соответствии с требованиями Международного газового кодекса и Классификационного общества, предъявляемыми к судам-газовозам.

Рассматривая инфраструктуру бункеровки, следует иметь в виду, что в некоторых случаях будут рациональными более простые варианты. Существующие технологии бункеровки СПГ в основном сводятся к применению автомобильных цистерн. Эта технология давно отработана, она позволяет принимать оптимальные логистические решения, обеспечивает заправку судна сжиженным метаном в нужное время, удобном для клиента месте и требуемом количестве. Кроме того, эта же заправочная техника может использоваться в интересах автомобильного транспорта и объектов автономной газификации.

Автомобильные метановозы позволяют максимально адаптировать эксплуатацию как под нужды потребителя, так и под потребности поставщика. В ожидании следующей бункеровки автомобиль может доставлять СПГ другим потребителям. В этих целях используются передвижные криозаправщики. Для бункеровки судов с автоцистерн отсутствует необходимость строить специальные терминалы (причалы), достаточно иметь удовлетворительный по нагрузкам и габаритам причальный пирс (рис. 2).



Рис. 2. Бункеровка судна с использованием автоцистерн

Баржи-бункеровщики начинают применяться в различных портах мира. Однако они жестко привязаны к району эксплуатации и потребителям. Хотя бункеровочные суда и обладают определенной автономностью, они все же ориентированы на ограниченное количество потребителей. В случае, например, с бункеровщиком «Sea Gas» в Стокгольме это ограничение не имеет особого значения, поскольку такой клиент, как паром «Viking Grace», ежедневно забирает 60 т СПГ. Создаются и новые перспективные системы. Так, компания «Crowley Maritime Corp.» — дочернее общество корпорации «Jensen Maritime» (США) — объявила о разработке двух новых концепций барж для бункеровки СПГ. В первом случае по заказу потребителя на палубе существующей баржи временно устанавливаются модули с емкостями для СПГ и при необходимости для других

жидких углеводородов. Такая концепция интересна для потребителей с непродолжительным периодом использования СПГ. Во втором случае речь идет о строительстве специальной бункеровочной баржи, объем СПГ на борту которой может определяться на основе потребностей конкретного покупателя топлива.

Судоходные компании пока ещё не определились со своими предпочтениями, по какой схеме бункероваться: с барж, со стационарного берегового пункта или автоцистерны. Опыт показывает, что баржи-бункеровщики являются наиболее удобным средством доставки СПГ особенно в тех портах, где инфраструктура СПГ отсутствует. В то же время свои преимущества имеют и другие варианты. Например, технологические решения компании «Crowley Maritime Corp.» предполагают внедрение новых бизнес-моделей более комфортной и экономичной бункеровки судов сжиженным метаном. Так, компания «Crowley Maritime Corp.» оказывает широкий спектр технологических услуг в области транспортировки и заправки СПГ не только баржами, но и автоцистернами в США, на Аляске и в странах Карибского бассейна. Финская компания «Wartsila» также создала самоходное судно-бункеровщик вместимостью 6,5 тыс. м³, способное доставлять СПГ на бункеруемое судно от берегового терминала. Эта операция может проводиться одновременно с разгрузкой танкера СПГ. Иберийская газомоторная ассоциация «GASNAM» подготовила проект технического регламента бункеровочных операций. В апреле 2016 г. он был представлен Европейской экономической комиссии ООН, после чего началась процедура экспертного обсуждения. Аналогичный документ на основе рекомендаций DNV GL разработан в США. В марте 2015 г. Служба береговой охраны США опубликовала «Письмо о политике в области бункеровки, подготовки персонала и береговых сооружений». Поскольку стационарных бункеровочных сооружений в США пока нет, а суда на СПГ уже появляются, единственной возможностью заправки остается использование только автомобильных цистерн или малых морских барж. В связи с этим возникают некоторые риски, которые пока никак не отражены в американском праве. Главной задачей сегодня называют расчет вероятных последствий в аварийных ситуациях при осуществлении заправки судов СПГ. Для этого компания «DNV» использует в своих моделях статистические данные, полученные в течение последних 30 лет.

Системы приема и хранения СПГ на судах, средства обеспечения безопасности и др. имеют определённые конструктивные особенности, отражающие специфические условия эксплуатации. Одним из важных показателей системы является *время бункеровки*, которое зачастую весьма ограничено расписанием коммерческой работы. Так, например, для морского паромов «Viking Grace», курсирующего по линии Стокгольм – Турку, была разработана специальная скоростная система, обеспечивающая прием 60 т СПГ в час. Бункеровка осуществляется в Стокгольме по схеме «судно – судно».

Компания «Cryoport» — одна из многих, кто в последнее время начинает развивать корпоративный бизнес в направлении применения сжиженного метана для всех возможных покупателей этого топлива в сегменте среднего и малого бизнеса: автономная газификация, заправка автомобильного и бункеровка водного транспорта. Компания «Cryoport» комплектует бортовые системы хранения СПГ с емкостями вместимостью 40, 60, 100 и 130 м³. Внедрением использования СПГ на главных судовых двигателях занимается широкопрофильная компания «Crowley Maritime Corporation» (США). С 2015 г. в компании функционирует специальная Группа по СПГ, отвечающая за реализацию корпоративной экологической стратегии EcoStewardship©. Так, на первых двух грузовых судах нового типа (El Coqui (Эль Ко-ки) и Taino (Тай-ноу) — комбинированный контейнеровоз / паром (ConRo — combination container and roll-on/roll-off) — компания «Crowley» устанавливает двухтопливные двигатели на СПГ (масса двигателя — 759 т, высота и длина — по 12,49 м, ширина — 4,48 м). Скорость судна — 22 уз (40,7 км/ч), грузовая вместимость — 2400 TEU. Судно приспособлено для перевозки контейнеров длиной 53 фута (16,15 м) и шириной 102 дюйма (2,59 м). На закрытых палубах судно может перевозить до 400 автомобилей.

Для обеспечения бесперебойного газоснабжения своих судов компания «Crowley» рассматривает варианты создания собственного бункеровочного флота. Эксперты компании высоко

оценивают экологические преимущества газовых двигателей по сравнению с традиционными: полное отсутствие в отработавших газах оксидов серы (SO_x), 92 %-е сокращение оксидов азота (NO_x), 32 %-е сокращение двуокси углерода (CO_2), коррозионная нейтральность. Суда «El Coqui» и «Taino» будут курсировать между Джексонвилем и Пуэрто Рико на линии, находящейся под управлением США. Следовательно, они подпадают под действие федерального Закона Джоунса (Jones Act), который, в частности, предусматривает, что все товары, транспортируемые по воде между портами США, должны перевозиться на судах под флагом США, принадлежащих гражданам США, построенных в США и с экипажами, укомплектованными постоянно проживающими в США гражданами.

На верфи «Arctech Helsinki Shipyard», Хельсинки (принадлежит Объединенной судостроительной корпорации) завершается строительство первого в мире ледокола, работающего на СПГ. Заказчик корабля — Финское транспортное агентство (Finnish Transport Agency). Ледопроечность судна — 1,6 м на скорости 6 уз (11 км/ч), ширина прокладываемого канала во льду толщиной 1,2 м — 25 м при той же скорости. Максимальная скорость хода на открытой воде — 16 уз (29,6 км/ч). Кроме основной функции ледокол будет использоваться для буксировки и при ликвидации разливов нефти. Ледокол оснащен силовыми газодизельными установками Wartsila для привода генераторов: одна 8-цилиндровая машина Wartsila 20DF, две 9-цилиндровых Wartsila 34DF и две 12-цилиндровых Wartsila 34DF37. На Выборгской верфи, расположенной в Северо-Западном регионе России (входит в Объединенную судостроительную корпорацию), также ведется строительство двух портовых ледоколов проекта Aker ARC 124 на СПГ. На каждом судне планируется установить по два шестнадцатцилиндровых (Wartsila-32), два восьмицилиндровых (Wartsila-31) и одному шестицилиндровому (Wartsila-20) двигателю.

В направлении развития бункеровочных баз в морской индустрии создаются специализированные терминалы. Так, например, Фонд объединения Европы выделил балтийским топливным предприятиям во главе с литовской «Klaipėdas Nafta» 15 млн евро субсидии на строительство мобильного терминала СПГ и развитие сети бункеровки в Балтийском море. В ходе проекта должно быть построено небольшое судно, которое будет обслуживать страны Балтийского моря на базе терминала в Клайпеде. Предполагается, что мобильное устройство могло бы обслуживать суда в Литве, Швеции, Эстонии и Германии. Еще в 2014 г. в Клайпеду пришло судно-хранилище СПГ, которое будет являться частью нового терминала. С июля 2016 г. начал работу терминал Scangas (дочерняя компания «Gasum») в г. Пори (Финляндия). Основное назначение его состоит в обеспечении финского энергетического рынка по трубопроводам. Однако предусматривается, что помимо поставок промышленным потребителям, на терминале будут заправляться суда СПГ бункеровщиков или на рейде «судно-судно» (борт-в борт).

Представляет интерес в рамках рассматриваемой темы создание международного общества для продвижения газа в качестве судового топлива. Совет директоров Международного общества операторов газовозов и терминалов (SIGTTO) принял решение создать общество, продвигающее газ в качестве судового топлива (SGMF), в форме неправительственной организации. Создание такого отраслевого органа является важным шагом в деле укрепления безопасности и получения опыта в области использования СПГ в качестве судового топлива. Членство в SGMF доступно для всех заинтересованных сторон, участвующих в бункеровках СПГ, т. е. судовладельцев, операторов бункерных судов, портовых администраций и регулирующих органов.

Следует отметить, что при рассмотрении вопроса о бункеровке СПГ судов приходится учитывать ряд аспектов, связанных с повышенной опасностью СПГ и его паров. В частности, необходимо предусматривать значительные по площади зоны отчуждения, что во многих случаях делает размещение стационарного бункеровочного терминала СПГ невозможным либо проблематичным, особенно в условиях активной хозяйственной деятельности на территории порта. При использовании судна-бункеровщика зоной отчуждения может быть акватория, что гораздо более приемлемо. При этом бункеровщик необязательно должен быть самоход-

ным — в ряде случаев достаточно, чтобы он постоянно находился в заданной точке акватории (например, стоял на якоре), бункеруемое судно может подойти к нему для швартовки и бункеровки самостоятельно.

Использование бункеровщиков СПГ, в отличие от аналогичных по назначению бункеровщиков жидким нефтяным топливом, выявляет серьезную проблему, определяемую, с одной стороны, практикой работы судна-бункеровщика, а с другой — свойствами СПГ как груза. Поскольку в настоящее время количество двухтопливных судов крайне невелико по сравнению с количеством судов, работающих на традиционных сортах жидкого топлива, вероятность появления нуждающихся в бункеровке двухтопливных судов в акватории, обслуживаемой бункеровщиком СПГ, весьма невелика и труднопредсказуема. Поэтому существует высокая вероятность того, что бункеровщик СПГ будет ждать встречи с нуждающимся в нем газотопливным судном очень долго. СПГ при атмосферном давлении кипит при температуре $-163\text{ }^{\circ}\text{C}$, поэтому даже применение самых эффективных видов теплоизоляции не позволяет обеспечить его длительного хранения без образования выпара. В результате образования выпара повышается давление в емкости, в которой хранится СПГ. Основные типы применяемых для хранения СПГ емкостей не рассчитаны на избыточное давление более 0,25 бар, поэтому выпар приходится отводить для поддержания приемлемого давления. Сбрасывать выпар в атмосферу опасно, так как образуется облако потенциально взрывоопасной газозооной смеси. Выпар либо сжигают в факельных установках, либо используют в качестве топлива в судовой энергоустановке бункеровщика СПГ (как и на газовозах СПГ), либо повторно сжижают в имеющейся на борту реконденсационной установке.

Представляется привлекательной такая схема работы бункеровщика СПГ, при которой он не хранится на борту судна в ожидании будущего использования, а принимается на борт непосредственно перед предстоящей бункеровкой, после получения предварительной заявки на выполнение такой операции. Однако для этого требуется принять СПГ на борт бункеровщика либо с береговой бункеровочной базы, либо с терминала СПГ, обслуживающего линейные газовозы СПГ, либо непосредственно с линейного газовоза СПГ, либо из авто- или железнодорожных цистерн. При проведении таких операций возникают разного уровня сложности. Кроме того, любая перегрузка СПГ сопровождается потерями части газа, объём которых увеличивается с ростом числа перегрузочных операций.

Заключение

В данной ситуации Россия, обладая третью мировых запасов природного газа, просто не имеет права упустить свои шансы занять достойное место на мировом рынке СПГ, а значит, должна предпринять для этого все необходимые действия. Для России с ее большой протяженностью внутренних водных путей очень важен вопрос доставки газа речным транспортом в отдаленные районы, где нет газопроводов. Для этого уже существуют проекты газовозов, но нужна обеспеченность необходимыми перевалочными и бункеровочными базами в акваториях рек. В европейских странах такой опыт есть [11].

Для экономии жидкого топлива на судах предложены технологии по уменьшению расхода топлива. Единственным новым видом топлива, применение которого оказывает существенное влияние на экологические показатели судовых двигателей, является природный газ. Промышленность производит все элементы, необходимые для перехода на газовое топливо на судах различного водоизмещения: двигатели, работающие на газовом топливе, криогенные ёмкости для хранения сжиженного газа, приборы-газоанализаторы. Всё это оборудование не только производится, но и уже имеет одобрение Российского морского регистра судоходства. При возникновении экономической целесообразности использование газа займёт своё место на судах. Главным препятствием на пути применения СПГ на морских судах является отсутствие инфраструктуры по бункеровке судов СПГ. Технических трудностей и нормативных ограничений по применению на судах этого вида топлива в настоящее время нет.

С позиции выбора вариантов доставки бункера на судах, не являющихся газовозами, наиболее предпочтительным представляется использование судов-бункеровщиков. В этом случае будет обеспечена большая мобильность с учетом лучших экономических и экологических условий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Пронин Е. Н.* Использование сжиженного природного газа на водном транспорте / Е. Н. Пронин. — СПб., 2016. — 48 с.
2. Фрахт для СПГ-танкеров предельно снизился // *Морские вести России*. — 2016. — № 8. — С. 1.
3. *Костылев И. И.* Теплотехнический аспект морских перевозок сжиженного газа / И. И. Костылев, М. К. Овсянников, Е. Г. Орлова, Н. Е. Сивцов. — СПб.: Изд-во ГМА им. адм. С. О. Макарова, 2002. — 118 с.
4. *Костылев И. И.* Морская транспортировка сжиженного газа: учеб.-теор. изд. / И. И. Костылев, М. К. Овсянников. — СПб.: Изд-во ГМА им. адм. С. О. Макарова, 2009. — 304 с.
5. *Шурпяк В. К.* О конструктивном коэффициенте энергетической эффективности судов ледового плавания / В. К. Шурпяк, В. В. Гришкин // *Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства*. — 2013. — № 36. — С. 191–212.
6. *Халилов Н. А.* Опыт эксплуатации двухтопливных дизелей / Н. А. Халилов, Н. А. Страхова // *Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология*. — 2011. — № 2. — С. 124–127.
7. *Крестьянцев А.* Снабжение потребителей энергоносителями в замерзающих морях РФ: комплексный подход / А. Крестьянцев, А. Луцкевич // *Морской флот*. — 2016. — № 3. — С. 38–46.
8. *Крестьянцев А.* Бункеровка СПГ: в поисках оптимального решения / А. Крестьянцев // *Морской флот*. — 2013. — № 2. — С. 36–39.
9. «Газпром» и Mitsui подписали меморандум по исследованиям в области СПГ-бункеровки [Электронный ресурс]: PortNews. — Режим доступа: portnews.ru/top_news/print/225594 (дата обращения — 22.08.16).
10. *Семенюк А. В.* Эксплуатационные режимы паротурбинной установки морского газовоза / А. В. Семенюк, С. А. Гармаш, Л. А. Семенюк // *Морские интеллектуальные технологии*. — 2013. — Т. 1. — № 1 (19). — С. 45–47.
11. *Хлюпин Л. А.* Причальные устройства для заправки судов сжиженным природным газом / Л. А. Хлюпин // *Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова*. — 2014. — № 6 (28). — С. 125–128.

BUNKERING OPERATIONS AS A RESTRAINING FACTOR IN NATURAL GAS USE FOR VESSEL FUELING

The article reviews the ships bunkering with liquid natural gas (LNG), used as a ship fuel. It is noted that the economic and environmental components predetermine extension of LNG use as fuel on ships. Maritime traffic causes great harm to the environment. Marine vessels burn heavy fuel and produce large quantities of soot, sulfur oxides and nitrogen oxides, which are dangerous for health and for the environment. In addition to these the negative carbon dioxide balance - about a billion tons, or 4.5% of global carbon dioxide emissions. The struggle for zero emissions goes in all directions. From 2015, the sulfur content of marine fuel has been limited. In 2016 - limited the content of nitrogen oxides for the new vessels. The use of LNG as a fuel for marine main engines, as well as to generate electricity to meet the needs on the ship during the port stay - allows to constrain the growth of pollution and implement stricter ecological limitation of the International Maritime Organization (IMO), acting under the auspices of the UN. The ecological aspect of the transition to the use of liquefied natural gas is decisive in choosing the way of the MARPOL Convention requirements implementation. The economic advantages of LPG use allow within a reasonable time to recoup the costs of vessel adaptation to LNG fuel, new technological equipment acquiring and the cost of bunkering. Suffice serious problem is the question of the infrastructure creation for LNG bunkering operations. The conclusion made is that the use of bunker ships being a preferred method of safe and mobile delivery of the LNG fuel from the shore terminals and offshore storage vessels to the LNG fueled ship. Brought examples of the special vessels and terminals construction.

Keywords: LNG, gas carrier, natural gas, ship bunkering operations, LNG bunkering terminals and vessels, bunker ship, gas fueled ship, MARPOL, ecology, emissions, Energy Efficiency Design Index.

REFERENCES

1. Pronin, E. N. *Ispolzovanie szhizhennogo prirodnogo gaza na vodnom transporte*. SPb., 2016.
2. "Fraht dlja SPG-tankerov predelno snizilsja." *Morskije vesti Rossii* 8 (2016): 1.
3. Kostylev, I. I., M. K. Ovsjannikov, E. G. Orlova, and N. E. Sivcov. *Teplotehnicheskij aspekt morskikh perevozok szhizhennogo gaza*. SPb.: Izd-vo GMA im. adm. S.O. Makarova, 2002.
4. Kostylev, I. I., and M. K. Ovsjannikov. *Morskaja transportirovka szhizhennogo gaza: ucheb.-teoret. izd.* SPb.: Izd-vo GMA im. adm. S.O. Makarova, 2009.
5. Shurpjak, V. K., and V. V. Grishkin. "O konstruktivnom kojefficiente jenergeticheskoi jeffektivnosti sudov ledovogo plavanija." *Nauchno-tehnicheskij sbornik Rossijskogo morskogo registra sudohodstva* 36 (2013): 191–212.
6. Khalilov, Nuriy Akkievich, and Nina Andreevna Strakhova. "Operation experience of ship dual-fuel diesels." *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine Engineering and Technologies* 2 (2011): 124–127.
7. Krestjancev, A., and A. Luckevich. "Snabzhenie potrebitelej jenergonositeljami v zamerzajushhiih morjah RF: kompleksnyj podhod." *Morskoj flot* 3 (2016): 38–46.
8. Krestjancev, A. "Bunkerovka SPG: v poiskah optimalnogo reshenija." *Morskoj flot* 2 (2013): 36–39.
9. «Gazprom» i Mitsui podpisali memorandum po issledovanijam v oblasti SPG-bunkerovki. Web. 22 Aug. 2016 <portnews.ru/top_news/print/225594>.
10. Semenjuk, A. V., S. A. Garmash, and L. A. Semenjuk. "Jekspluatacionnye rezhimy paroturbinnoi ustanovki morskogo gazovoza." *Morskije intellektualnye tehnologii* 1.1(19) (2013): 45–47.
11. Hljupin, L. A. "Mooring facilities for refueling of vessels liquefied natural gas." *Vestnik Gosudarstvenno universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova* 6(28) (2014): 125–128.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Костылев Иван Иванович —
доктор технических наук, профессор.
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени
адмирала С.О. Макарова»
kostylevii@gumrf.ru
Коняев Дмитрий Викторович —
кандидат технических наук, доцент.
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени
адмирала С.О. Макарова»
kaf_tckvu@gumrf.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Kostylev Ivan Ivanovich —
Dr. of Technical Sciences, professor.
Admiral Makarov State University
of Maritime and Inland Shipping
kostylevii@gumrf.ru
Konjaev Dmitrij Viktorovich —
PhD, associate professor.
Admiral Makarov State University
of Maritime and Inland Shipping
kaf_tckvu@gumrf.ru

Статья поступила в редакцию 23 августа 2016 г.

DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-5-144-150
УДК 629.12.002 + 620.9

А. В. Вольнцев,
А. Н. Соболенко

УТИЛИЗАЦИЯ ТЕПЛОВЫХ РЕСУРСОВ ГЛАВНОГО СУДОВОГО ДВИГАТЕЛЯ ПОСРЕДСТВОМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛОНАСОСНОЙ УСТАНОВКИ

Рассмотрена возможность использования теплового насоса и теплообменного аппарата в системе отопления судна. Эффективное замещение в топливном балансе систем судового теплоснабжения ископаемых видов топлива на практически неисчерпаемые ресурсы низкопотенциального тепла возобновляемых и вторичных источников с использованием теплонасосной установки является актуальным направлением энергосбережения и охраны окружающей среды. Показан принцип работы теплонасосной установки, утилизирующей низкопотенциальные вторичные тепловые ресурсы главного двигателя. Особенностью использования теплового насоса является то, что источник вторичной теплоты имеет более