

Сжиженный природный газ как судовое топливо: проблемы и перспективы их решения



И. И. Костылев,
*д. т. н., профессор, заведующий кафедрой
теплотехники, судовых котлов и вспомо-
гательных установок Государственного
университета морского и речного флота
имени адмирала С. О. Макарова*

В последнее время все большее развитие получает мировая практика использования сжиженного природного газа (СПГ) в качестве топлива для силовых установок морских и речных судов. При этом основными проблемами, сдерживающими данное направление, являются вопросы, связанные с бункеровкой этого вида топлива.

Общезвестно, что развитие энергетики мировой индустрии существенно влияет на деятельность человечества. В технических учебных заведениях изучают не только объекты технического совершенствования энергетики, но и проблемы с внедрением и практическим использованием их.

В Государственном университете морского и речного флота им. адм. С. О. Макарова (Санкт-Петербург, Россия) больше столетия осуществляется подготовка моряков, включая и судовых механиков. Для этой категории обучающихся весьма важной становится проблема использования топлива.

Сегодня топливо для судовых установок рассматривается не только с позиций надежности работы установок и экономики, но и с учетом выполнения требований по экологии. Эту сложную задачу в значительной мере можно решить, используя газовое топливо. Для газозавозов, особенно для судов, перевозящих наливом сжиженный газ, с двигательными установками двухтопливного варианта, обеспечение безопасности — весьма важный момент. Следует отметить, что в мировой практике накоплен определенный опыт эксплуатации аналогичных судов. Для развития транспортировки газообразных углеводородов в отечественной практике судоходства первичным должно быть изучение опыта ведущих компаний и решение задачи по кадровому обеспечению не только экипажей судов, но и терминалов.

Вопросы топливоиспользования всегда находились в центре внимания разработчиков судовой энергетики, а с внедрением в индустрию судоходства газозавозов

применение газа в качестве топлива стало весьма популярно. При транспортировке природного газа в жидком состоянии неизбежно образование пара. Его утилизация может идти путем реконденсации и возвращения в груз или подачи к двигателям, котлам в качестве топлива. Второе решение более экономично и экологически оправдано. Конструктивные особенности газозавозов и требования по обеспечению безопасности отражаются в нормативных документах, издаваемых классификационными обществами и на уровне международной морской организации [1].

Для судов, не являющихся газозавозами, перевод на газ сейчас практически решенный вопрос [2]. Однако если процесс сжигания отработан фирмами — строителями дизелей и котлов, то позиции размещения бункера на судне и получения газового топлива на борт судна находятся на стадии внедрения и разработки наиболее приемлемых вариантов.

С 80-х годов прошлого века в ряде стран осуществлялись отдельные проекты по газификации морских и речных судов сжиженным природным газом (СПГ). Первым принято считать каботажное грузовое судно *Accolade II* дедвейтом 8140 т, построенное в Австралии в 1982 г. с газодизельной силовой установкой. В 1985 и в 1988 г. в Ванкувере (Канада) начали работать паромы *Klatawa* и *Kulleet*, перевозившие по 146 пассажиров и 26 автомобилей. Природный газ хранился в 50 стальных баллонах общим объемом 14,7 куб. м под давлением 250 атмосфер. Бункеровка паромов осуществлялась от городской распределительной сети через трехступенчатый компрессор [3].

В Норфолке (Вирджиния, США) в 1995 г. начал работать паром *Elisabeth*

River I, рассчитанный на перевозку 149 пассажиров. Особенность парома заключалась в том, что газодизельная силовая установка предназначалась для кормового колесного движителя. В Нидерландах в 1994 г. перевели на СПГ речные прогулочные суда *Mondriaan* и *Escher*, а в 2000 г. — суда *Rembrandt* и *VanGogh*. С 90-х годов в Италии периодически демонстрируют скоростные катера на СПГ.

В середине 90-х годов XX века в России после длительного перерыва вернулись к теме использования метана на судах. 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 опытных теплоходов работали по газодизельному циклу. Запальная доза дизельного топлива составляла 30 %, что считалось на механических системах управления подачей топлива приемлемым. Однако существенного экологического преимущества такие системы не давали. Газовые баллоны размещались на палубе надстройки в районе 57–61 шпангоутов по правому и левому бортам в двух контейнерах по шестнадцать 50-литровых баллонов с общим запасом газа на 20 ч работы. Каждая группа баллонов использовалась для питания одного двигателя.

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

предусматривались система управления, аварийно-предупредительная сигнализация и защита.

Опытная эксплуатация судов-газовозов свидетельствует, что использование природного газа в качестве моторного топлива на судах внутреннего водного транспорта возможно и целесообразно. При этом ранее построенные речные суда можно переоборудовать, а морские выгоднее переводить на газ на стадии строительства, хотя их стоимость при этом несколько повышается. Об этом говорили, в частности, на конференции «СПГ-флот и СПГ-бункеровка в России», которая состоялась в октябре 2017 г. в Москве. В работе этой конференции принимали участие представители Университета им. адм. С. О. Макарова.

С освоением газовых месторождений и развитием транспортировки сжиженного природного газа (СПГ) танкерным флотом образующийся при испарении груза пар стали использовать в качестве топлива. Транспортировка газа морским транспортом предопределяла внедрение такой технологии как альтернативы реконденсации. Однако в последние годы использование газовозов нестабильно, а значит, таков и спрос на установки, работающие на газовом топливе.

Объемы транспортировки газа морем определяются в значительной степени расположением заводов по сжижению. Первый завод в России по сжижению газа был построен на Сахалине, а перспектива остается за арктическим регионом, включая вывод на проектную мощность «Ямал-СПГ». В плане конкурентности для России представляет интерес формирующийся в восточной части Арктики вариант США «Аляска-СПГ».

На развитие газового рынка будет оказывать существенное влияние Балтика, Северо-Запад в целом. Как известно, уже реализуется проект «Балтийский СПГ» [4]. С учетом необходимости выполнения Государственной программы по переводу всех видов транспорта на газомоторное топливо будет возрастать потребление газа, а следовательно, и перевозки. В этом просматривается возможность востребованности речных судов.

Отметим, что при обсуждении использования газового топлива на судах речь идет прежде всего о газовозах, где не предусмотрены специальные емкости для бункерных запасов. Газ идет из грузовых танков в виде выпара, т. е. испаряющейся части газа. Согласно про-

гнозам к концу 2018 г. мировые мощности по производству СПГ вырастут на 45 % и флот газовозов, включая и вновь строящиеся суда, будет задействован [5]. Таким образом, доля газа в общем объеме топлива, сжигаемого в судовых установках, увеличится. Кроме экономических аспектов в данном случае очень важны и экологические показатели. Теплотехнические особенности сжигания газа в судовых установках (в двигателях, котлах) хорошо анализируются, и преимущество газа не вызывает сомнений [6]. Остаются вопросы, 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. Это вызвано неустойчивостью мирового нефтяного рынка и ужесточением требований природоохранных организаций, включая новые положения Международной морской организации (IMO) в соответствующих разделах конвенции MARPOL Annex VI Tier II и Tier III. Особое внимание IMO 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 конструкционного исполнения судов, их размерений и назначения. Например, во второй половине 2011 г. постановлением IMO была создана рабочая группа под председательством японского представителя Mr. Koishida Yoshida, в которую вошли специалисты от правительств 26 стран, в том числе и от России, для обсуждения и принятия норм и способов оценки соответствия им на судах мирового флота, в частности норм выброса с них в атмосферу GHG (Greenhouse Gas, в основном углекислый газ с отдельной оценкой NO_x , SO_x).

Решением этих проблем занимаются все судоходные компании. Наиболее эффективно проблемы решаются на уровне судостроения при его государственном регулировании с активным участием в нем передовых классификационных обществ (ABS, DNV, Lloyd и др.) во главе с Международной ассоциацией классификационных обществ (МАКО).

Первое направление новаций в области топливоиспользования (снижение расхода топлива) касается всего мирового флота. Второе направление (природоохранное) в значительно большей степени относится к двигателям судов внутреннего и прибрежного плавания. Отметим, что в том и другом случае наиболее эффективным способом решения проблемы оказывается интенсивное внедрение природного газа в качестве основного топлива в судовой энергетике.

При увеличении масштабов использования газа на судах наиболее проблемными становятся вопросы организации бункеровки. Прежде всего это емкости хранения газа на судах и бункеровочных терминалах. Сегодня уже существуют и используются системы хранения СПГ в танках (баллонах) специальной конструкции, продуманно вписывающихся в обводы судна без ущерба для его вместимости. Чаще всего применяются контейнеры-цистерны. На рис. 1 приведен внешний вид находящегося в эксплуатации судна с расположением баллонов большой емкости на главной палубе.

Широкому применению газа в качестве топлива на морских судах препятствует неразвитость инфраструктуры по бункеровке судов газовым топливом. Особенно важно это для судов с короткими переходами. Идеальным вариантом может быть линейное судоходство с базами бункеровки в конечных портах. Такая практика сейчас реализуется в паромном судоходстве. Однако основная часть морских и речных судов нуждается в обеспечении газовым



Рис. 1. Расположение контейнеров-цистерн с газовым топливом



Рис. 2. Бункеровка на рейде порта Гетеборг

топливом с использованием мобильных бункеровочных баз. Поэтому возникла объективная потребность в судах — бункеровщиках СПГ. Кроме того, вследствие роста потребления и популярности СПГ появилась потребность в фидерных перевозках относительно небольших (по меркам рынка) партий сжиженного газа на судах, способных круглогодично выполнять переходы между местными портами в пределах Европы.

Сегодня в мире имеются в эксплуатации бункеровщики СПГ, например, шведский Sea Gas, работающий в порту Стокгольма.

В России наиболее продуктивно ведется проработка проектов судов-бункеровщиков с ориентацией на Балтийский бассейн [7]. Перспективный вариант для Северной Европы — строительство в Китае крупного бункеровщика вместимостью 18,6 тыс. куб. м. Ввод судна в эксплуатацию запланирован на 2020 г. [8]. Контракт на долгосрочный фрахт судна подписан Total Marine Fuels Global Solutions и Токийской Mitsui O. S.K. Lines, Ltd. (MOL).

Финская компания Skangas совершила первую в мире бункеровку СПГ методом «судно–судно» [9] в сентябре 2016 г. Компания — поставщик сжиженного газа назвала это событие началом новой эры в использовании СПГ-топлива при международных морских перевозках. В нем принимали участие танкер MT Ternsund, применяющий СПГ в качестве топлива, и малый танкер-газовоз Coral Energy, который принадлежит судовладельцу Энтони Ведеру и зафрахтован компанией Skangas. Операция проводилась на входе в порт Гетеборг, Швеция (рис. 2).

Инфраструктура для бункеровки судов, использующих СПГ, исторически наиболее развита в Норвегии. Бункеровочные терминалы СПГ планируется открыть 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.

Даже ближайшие прогнозы спроса и предложения СПГ весьма противоречивы. Возможно, потому, что такие сегменты рынка сжиженного метана, как автономная газификация, заправка автомобилей и бункеровка судов, только формируются и нестабильны. Кроме того, для достоверных прогнозов порой просто не хватает исходной информации.

Согласно сводной оценке нескольких специализированных организаций минимальный и максимальный сценарии развития спроса сжиженного природного газа отличаются в несколько раз. Тем не менее есть основания полагать, что к 2025 г. сегмент бункеровочного топлива в общем объеме газомоторного рынка составит около 25 млрд куб. м.

К основным игрокам рынка СПГ в качестве судового топлива кроме политиков и инвесторов следует отнести владельцев морских и речных судов, транспортные компании, судостроителей, портовые власти, девелоперов инфраструктуры, поставщиков криогенной техники и оборудования.

Общий спрос морского и речного транспорта на бункеровочный СПГ в Европе к 2030 г. оценивается как 20–27 млрд куб. м в год, в том числе в бассейнах Балтийского и Северного морей как 10–14 млрд куб. м в год.

Эксперты классификационного общества DNV GL считают, что в 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 узлов; расход топлива (с содержанием серы от 2,5 до 4,5 %, что подпадает под ограничения) следующий: часовой 14 т, суточный 300 т, годовой ≈ 97 тыс. т (около 70 тыс. т СПГ). Таким образом, годовая потребность 1000 подобных судов может составить 70 млн т СПГ.

Поставки СПГ могут осуществляться с берегового терминала или с бункеровочных судов: барж либо небольших танкеров. Какой метод поставки СПГ будет развиваться в порту, зависит от локализации источника СПГ относительно порта.

Вопросы безопасности одновременных грузовых операций и других видов деятельности на причале или на стоянке во время бункеровки также влияют на то, как будет осуществляться поставка бун-

кера СПГ: с берега или с судна-бункеровщика, которое пришвартовано к судну, находящемуся у причала или на якорной стоянке.

В случае использования стационарных сооружений обеспечивается подключение бункеровочной линии судна непосредственно к трубопроводам на причале. При этом СПГ хранится в резервуаре, расположенном в порту или поблизости от него.

Автомобильные цистерны позволяют бункеровать судно с причала, не оборудованного СПГ-терминалом. Автоцистерна на причале подсоединяется к судну шлангами. Альтернативный вариант — использование стандартных танк-контейнеров (ТК) вместо топливных танков судна. После расходования топлива танк-контейнеры заменяются на заправленные. Они доставляются на судно автомобильным или железнодорожным транспортом, а порожние ТК возвращаются для заправки. Такая процедура может сократить общую продолжительность бункеровки.

Преимущество использования судна-бункеровщика, пришвартованного к борту принимающего судна, которое находится в порту или на якорной стоянке, состоит в изоляции 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 охватывает большой район снабжения топливом, чем баржа-бункеровщик, и имеет большую вместимость. Конструкции судов-бункеровщиков и правила их эксплуатации должны отвечать требованиям международных кодексов [1, 2].

Говоря об инфраструктуре бункеровки, надо иметь в виду, что в некоторых случаях оказываются рациональными более простые варианты. Существующие технологии бункеровки СПГ в основном сводятся к применению автомобильных цистерн. Эта технология давно отработана, позволяет принимать оптимальные логистические решения, обеспечивает заправку судна требуемым количеством сжиженного метана в нужное время и в удобном для клиента месте. Кроме того, эта же заправочная техника может использоваться в интересах автомобильного транспорта и объектов автономной газификации.

Автомобильные метановозы позволяют максимально адаптировать эксплуатацию не только к нуждам потребителя, но и к потребностям поставщика.

В ожидании следующей бункеровки автомобиль может доставлять СПГ другим потребителям. Для этого используются передвижные криозаправщики. При бункеровке судов с автоцистерн нет необходимости строить специальные терминалы (причалы). Достаточно иметь удовлетворительный по нагрузкам и габаритам причальный пирс (рис. 3).

Баржи-бункеровщики начинают применяться в различных портах мира, однако они жестко привязаны к району эксплуатации и потребителям. Бункеровочные суда, характеризующиеся определенной автономностью, все-таки ориентированы на ограниченное количество потребителей. В приведенном раньше примере с бункеровщиком Sea Gas в Стокгольме это ограничение не играет особой роли, поскольку такой клиент, как паром Viking Grace, ежедневно забирает 60 т СПГ.

Создаются и новые перспективные системы. 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) других жидких углеводородов. Такой вариант интересен для потребителей с непродолжительным периодом использования СПГ. Во втором случае речь идет о строительстве специальной бункеровочной баржи, объем газа на борту которой может определяться на основе потребностей конкретного покупателя топлива.

Судоходные компании пока не определили своих предпочтений относительно схемы бункеровки: с барж стационарного берегового пункта или автоцистерн. Опыт свидетельствует, что баржи-бункеровщики наиболее удобны для доставки СПГ, особенно в тех портах, где не развита инфраструктура СПГ. В то же время другие варианты имеют свои преимущества.

Технологические решения компании Crowley Maritime Corp. предполагают внедрение новых бизнес-моделей более комфортной и экономичной бункеровки судов сжиженным метаном. Компания 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

емкостью 6,5 тыс. куб. м, способное доставлять СПГ на бункеруемое судно от берегового терминала. Эта операция может проводиться одновременно с разгрузкой танкера СПГ, что сокращает стояночное время.

Для обеспечения бесперебойного газоснабжения своих судов компания Crowley разрабатывает варианты создания собственного бункеровочного флота. Эксперты компании высоко оценивают экологические преимущества газовых двигателей по сравнению с традиционными: отсутствие в отработавших газах оксидов серы (SO_x), сокращение на 92 % содержания оксидов азота (NO_x), на 32 % — диоксида углерода (CO_2), коррозионная нейтральность.

Суда El Coqui и Taino будут курсировать между Джексонвиллем и Пуэрто-Рико, на линии, находящейся под управлением США. Следовательно, они подпадают под действие Федерального закона Джоунса (Jones Act), который предусматривает, в частности, 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 США. (Кстати, это можно рассматривать как пример для организации подобного требования и в отечественной практике применительно к каботажным перевозкам.)

Возвращаясь к арктической теме, нужно отметить, что в акватории портов, где идет грузообработка газовозов экономически и экологически целесообразно использование ледоколов на газовом топливе. На верфи Arctech Helsinki Shipyard (принадлежит российской объединенной судостроительной компании) в Хельсинки завершается строительство

первого в мире ледокола, работающего на СПГ. Заказчик судна — Финское транспортное агентство (Finnish Transport Agency). Ледопробиваемость судна — 1,6 м на скорости шесть узлов (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 узлов (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 восьмицилиндровая машина Wartsila 20DF, две девятицилиндровых Wartsila 34DF и две 12-цилиндровых Wartsila 34DF37.

В направлении развития бункеровочных баз в морской индустрии создаются специализированные терминалы. 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. При реализации проекта должно быть построено небольшое СПГ-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. Партнеры проекта — Litgas и Blue LNG [10]. В 2014 г. в Клайпеду пришло судно — хранилище СПГ, которое будет частью нового терминала.

С июля 2016 г. начал работу терминал Scangas (дочерняя компания Gasum) в г. Пори (Финляндия). Основное назначение терминала — обеспечение финского энергетического рынка по трубопроводам. Однако предусматривается, что по-



Рис. 3. Бункеровка судна с использованием автоцистерн

мимо поставок промышленным потребителям суда СПГ-бункеровщиков будут запрашиваться на терминале или на рейде методом «судно – судно».

В рамках рассматриваемой темы представляет интерес 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. Это важный шаг вперед в деле укрепления безопасности и получения опыта в области использования СПГ как 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.

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 предпочтительно, чтобы зоной отчуждения была акватория. Бункеровщик обязательно должен быть самоходным: в ряде случаев достаточно, чтобы он постоянно находился в заданной точке акватории (к примеру, стоял на якоре), бункеруемое судно может подойти к нему.

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. Сейчас количество двухтопливных судов крайне невелико по сравнению с количеством судов, работающих на традиционных сортах жидкого топлива, и вероятность появления нуждающихся в бункеровке двухтопливных судов в акватории, обслуживаемой бункеровщиком СПГ, весьма невелика. Иными словами, бункеровщик СПГ может ждать встречи с нуждающимся в нем газотопливным судном очень долго.

При атмосферном давлении СПГ кипит при температуре -163°C , поэтому даже применение самых эффективных ви-

дов теплоизоляции не позволяет обеспечить его длительного хранения без образования выпара. В результате образования выпара повышается давление в емкости, где хранится СПГ. Основные типы приемляемых для хранения СПГ емкостей не рассчитаны на избыточное давление более 0,25 бар, и выпар приходится отводить для поддержания приемлемого давления. При этом сбрасывать его 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 СПГ не хранится на борту судна в ожидании 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 сложности разного уровня. Кроме того, любая перегрузка СПГ сопровождается потерями части газа, объем которых увеличивается с ростом числа перегрузочных операций.

Россия, обладая большими запасами природного газа, имеет шансы занять достойное место на мировом рынке СПГ. Для нашей страны с большой протяженностью внутренних водных путей очень важен вопрос доставки газа речным транспортом в отдаленные районы, где нет газопроводов. Подготовлены проекты газовозов, но нужны перевалочные и бункеровочные базы в акваториях рек или обеспечение бункеровки в устьевых (морских) портах.

Таким образом, для экономии жидкого топлива на судах внедряются технологии по уменьшению расхода топлива. Единственный новый вид топлива, применение которого существенно влияет на экологические показатели судовых двигателей, — природный газ. Промышленность производит все элементы, необходимые для перехода на газовое топливо на судах небольшого водоизмещения: двигатели, работаю-

щие на газовом топливе, криогенные емкости для хранения СПГ, приборы-газоанализаторы. Все производимое оборудование одобрено классификационными обществами. При возникновении экономической целесообразности использование газа займет свое место на судах. Главным препятствием на пути применения природного газа на морских судах становится неразвитость инфраструктуры по бункеровке судов СПГ.

Среди вариантов доставки бункера на судах, не являющиеся газовозами, наиболее предпочтительным представляется использование судов-бункеровщиков. В этом случае будет обеспечена мобильность при соблюдении лучших экономических и экологических условий. Нет необходимости кого-либо убеждать, что все проблемы с обеспечением судов газовым топливом могут быть решены только профессионально подготовленным персоналом. Кроме должной теоретической подготовки, изучения особенностей свойств и характеристик газа в обязательном порядке нужна отработка практических навыков на тренажерах и в условиях реальных судовых установок. Только при таком алгоритме будет обеспечена безопасность внедрения газового топлива в судоходную индустрию. **Т**

Литература

1. Международный кодекс постройки и оборудования судов, перевозящих сжиженные газы наливом (Кодекс МКП). С изм. 2016 г.
2. Международный кодекс по безопасности для судов, использующих газы и иные виды топлива с низкой температурой вспышки (Кодекс МПТ).
3. <http://gazpronin.ru> Использование сжиженного природного газа на водном транспорте. 2016.
4. <http://portnews.ru/news/250803/>
5. Фрахт для СПГ-танкеров предельно снизился // Морск. вести России. 2016. № 8. С. 1.
6. Костылев И. И., Овсянников М. К. Морская транспортировка сжиженного газа: учеб.-теорет. изд. СПб.: Изд-во ГМА им. адм. С. О. Макарова, 2009. 304 с.
7. Луцкевич А. М., Крестьянцев А. Б. СПГ-бункеровщик родом из Петербурга. Порт Ньюс. Портовый сервис: Полугодовой отчет. 2017. С. 74–77.
8. <http://portnews.ru/news/print/253492/>
9. <http://mtelegraph.com/?p=100475>
10. Lading the Gas Revolution and Wartsila Dual-fuel Milestone Surveyor, ABC, Fall 2012.