

**Информационно – справочный материал
о мировых тенденциях развития применения СПГ
в качестве топлива на водном транспорте**



ОГЛАВЛЕНИЕ

- I. Термины и определения, используемые обозначения**
- II. История развития использования СПГ в качестве топлива на водном транспорте**
- III. Актуальное состояние мирового рынка и перспективы развития**
- IV. Предпосылки**
 - 1. Экологические предпосылки
 - 2. Экономические предпосылки
 - 3. Инфраструктурные предпосылки
- V. Области применения, примеры судов на СПГ**
 - 1. Круизные лайнеры
 - 2. Ледоколы
 - 3. Специализированные суда и паромы
 - 4. Грузовые суда
 - 5. Военные суда
 - 6. Речные суда
 - 7. Портовая техника
- VI. Российские разработки в области использования СПГ в качестве топлива на водном транспорте**
- VII. Технические решения**
 - 1. Технические преимущества.
 - 2. Судовые двигатели, использующие СПГ в качестве топлива
 - 2.1 Принцип работы газодизельного двигателя.
 - 3. Описание типовых схем бункеровки судов.
 - 3.1 Бункеровка «судно - судно».
 - 3.2 Бункеровка «автоцистерна - судно».
 - 3.3 Бункеровка «береговое хранилище – судно».
 - 3.4 Контейнерные цистерны СПГ, используемые в качестве топливных баков.
 - 4. Техническая осуществимость перевода судов на СПГ.
- VIII. Стандарты**
- IX. Используемые материалы**

1. ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Дедвейт (англ. deadweight) — величина, равная сумме масс переменных грузов судна, измеряемая в тоннах, то есть сумма массы полезного груза, перевозимого судном, массы топлива, масла, технической и питьевой воды, массы пассажиров с багажом, экипажа и продовольствия.

Каботаж (фр. cabotage) — термин, использующийся для обозначения «плавания коммерческого грузового или пассажирского судна между морскими портами одного и того же государства».

Шпангоут (нидерл. spanthout, от spant — «балка» и hout — «древесина») — поперечное ребро корпуса судна; деревянный или металлический поперечный элемент жёсткости обшивки корпуса корабля или летательного аппарата. В кораблестроении и судостроении это также элемент теоретического чертежа — сечение корпуса вертикальной поперечной плоскостью.

Суда класса Ro-Pax - грузопассажирские суда, предназначенные для перевозки накатной техники и ограниченного количества пассажиров (максимум 200 человек), как правило, сопровождающих груз, водителей автотранспортных средств.

Суда класса Con-Ro - контейнеровоз с горизонтальной грузообработкой.

Замснаряд - судно технического флота, предназначенное для производства дноуглубительных работ и добычи нерудных строительных материалов.

ИМО (International Maritime Organization) — международная межправительственная организация, является специализированным учреждением ООН, служит аппаратом для сотрудничества и обмена информацией по техническим вопросам, связанным с международным торговым судоходством.

MARPOL 73/78 - Международная конвенция, предусматривающая комплекс мер по предотвращению эксплуатационного и трансграничного загрязнения

моря судами с нефтью, жидкими веществами в больших количествах, вредными веществами в упаковке, сточными водами.

MGO – дизельное судовое топливо.

NFO – судовой мазут.

Чартер (англ. **charter** — «хартия», «устав»; здесь — «договор») — договор между владельцами транспортного средства и фрахтователем (нанимателем) на аренду всего транспортного средства или его части на определённый рейс или срок.

Бункеровка — заправка судна топливом и моторными маслами.

ВМТ – положение поршня в цилиндре двигателя внутреннего сгорания, соответствующее максимальному расстоянию между любой точкой поршня и осью вращения коленчатого вала.

ГТС – газотранспортная система.

ЖНТ – жидкое нефтяное топливо.

КриоПАГЗ – криогенные передвижные автогазозаправщики.

ММОГ – международный морской кодекс по опасным грузам.

РМРС – российский морской регистр судоходства.

Скруббер – приспособление для улавливания легко летучих частей, не конденсирующихся в холодильниках перегонной или газовой аппаратуры.

СПГ – сжиженный природный газ.

ТНВД – топливный насос высокого давления.

ADR (Agreement on Dangerous Goods by Road) – Европейское соглашение о перевозке опасных грузов.

DF Engine (dual fuel engine) – двигатель, работающий на двух видах топлива.

STS (ship to ship) – бункеровка по схеме судно – судно.

TPS (intermediate tank to ship) – бункеровка по схеме береговое хранилище – судно.

TTS (truck to ship) – бункеровка по схеме КριοПАГЗ – судно.

US DOT (United States Department of Transportation) – Министерство транспорта США.

Waste Gate – обходная система выхлопных газов вокруг турбин, контролируемая электроникой.

TEUs – (анг. Twentyfoot Equivalent Unit) – единица измерения грузов, которая равна объёму одного двадцатифутового морского контейнера. Единица TEU используется для определения и учета объемов грузов на морских контейнерных терминалах и перевозимых грузов судами контейнеровозами.

II. ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИРОДНОГО ГАЗА В КАЧЕСТВЕ ТОПЛИВА НА ВОДНОМ ТРАНСПОРТЕ

Применение природного газа для бункеровки судов имеет достаточно давнюю историю. Еще в середине 30-х годов XX века в СССР было первое в истории водного транспорта зафиксированное массовое использование газового топлива на речных буксирах. К 1 января 1941 в СССР на газе работал целый флот: 469 речных судов разного назначения, оборудованных газогенераторными установками МСВ-84 для серийного тракторного двигателя ЧТЗ-С-60 мощностью до 120 л. с.

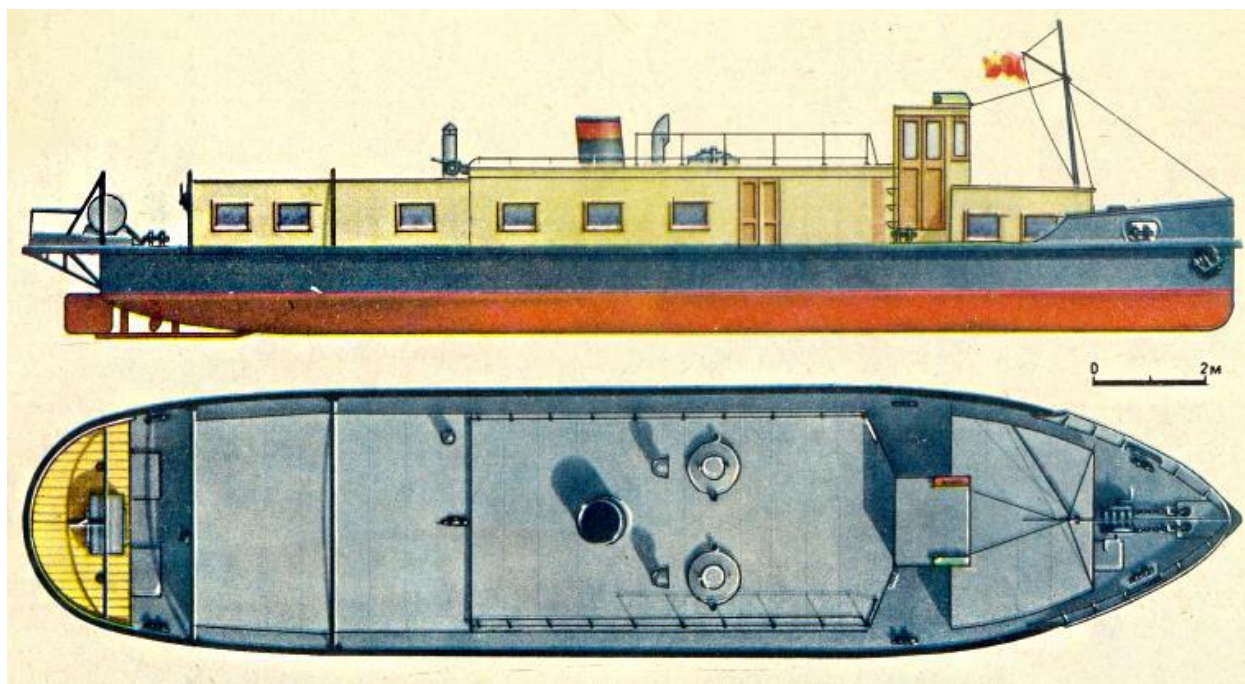


Рисунок 1: Речной буксир с газогенераторной силовой установкой

Буксир обладал следующими основными характеристиками: длина, - 21,7 м; ширина, - 4,4 м; осадка на нос - 0,14 м; осадка на корму - 0,56 м; водоизмещение – 28 т; общая мощность двигателей – 100 л. с.; экипаж – 9 чел.; объем бункеровочной емкости - 27 м³ (на трое суток работы).

С 1980-х годов в ряде стран осуществлялись отдельные пилотные проекты по газификации морских и речных судов сжиженным природным газом. Первым из таких судов принято считать каботажное грузовое судно Assolade II дедвейтом 8140 т, построенное в Австралии в 1982

г. с газодизельной силовой установкой. В 1985 и в 1988 годах 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 (по воде) вместимостью 14,7 м³ под давлением 250 атмосфер. Бункеровка паромов осуществлялась от городской распределительной сети через трехступенчатый компрессор.



Рисунок 2: Первые современные суда на КПП слева направо Accolade II, Klatawa, Elisabeth River I, Mondriaan

В Норфолке (Вирджиния, США) в 1995 году начал работать паром Elisabeth River I, рассчитанный на перевозку 149 пассажиров. Особенностью парома было то, что газодизельная силовая установка приводила кормовой колесный движитель. В Нидерландах перевели на КПП речные прогулочные суда Mondriaan и Escher в 1994 г., а позже Rembrandt и VanGogh в 2000 году.

С 1990-х годов в Италии периодически демонстрируют скоростные катера на КПП и СУГ.

В Российской Федерации вернулись после длительного перерыва к теме использования метана на водных судах после только в середине 90-х годов XX века. В 1994 – 1997 годах в Санкт-Петербурге и Москве были успешно проведены эксплуатационные испытания газодизельных пассажирских теплоходов проектов Р-35 «Нева» и Р-51 «Москва». Участниками демонстрационного проекта были РАО «Газпром», Московская государственная академия водного транспорта (МГАВТ), АО «Инженерный центр речного судостроения», АО «Автосистема». Главные двигатели опытных теплоходов (ЗД6) 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 бортам в двух контейнерах по шестнадцать

50-литровых баллонов Типа 1 с общим запасом газа на 20 часов работы. Каждая группа баллонов использовалась для питания одного двигателя.

По результатам опытной эксплуатации было сделано заключение о возможности перевода судов этого класса на работу по чисто газовому циклу. Позже специалисты МГАВТ ставили вопрос о необходимости проработки вопроса о переводе на СПГ грузовых теплоходов проекта "Ока". Эти суда работали на линиях протяженностью несколько сотен километров. Расчеты показывали, что автономность плавания Оки, оборудованной среднеоборотными двигателями, может быть доведена до 14 суток.



Рисунок 3: экспериментальный теплоход класса «река» на СПГ, Москва, 2010

После 2000 года Московская государственная академия водного транспорта (МГАВТ) переоборудовала и испытывала прогулочные теплоходы на КПГ и СПГ. Несмотря на удовлетворительные результаты всех перечисленных испытаний и видение путей совершенствования технологий, это направление не получило развития в России прежде всего из-за непонимания со стороны государства, отсутствия межведомственной координации, нехватки средств.

III. АКТУАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ МИРОВОГО РЫНКА И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Использование СПГ в качестве бункерного топлива расширяется по всему миру. Большую роль в этом играет международное регулирование и введение зоны ЕСА Балтийского и Северного морей. Сохраняющееся различие в стоимости СПГ и нефтяных топлив, последовательная политика по стимулированию использования СПГ для бункеровки и ужесточение экологических требований поддерживают стабильно высокий уровень ожиданий в отношении перспектив СПГ на глобальном рынке судоходства. По мнению экспертов, количество судов, использующих СПГ в качестве топлива, к 2030 году достигнет 3700 единиц.

Прирост количества судов на СПГ будет обеспечиваться преимущественно за счет обновления флота. Согласно прогнозам Lloyds List и DNV GL почти треть новых судов будет строиться с газотопливными двигателями. Данный прогноз не учитывает возможности переоборудования судов, что является менее целесообразным с экономической точки зрения, однако технически возможно.

Прогнозируется рост доли газотопливных судов в составе мирового флота: с 0,1% в 2018 до 3,5% к 2030 – на фоне введения глобальных экологических требований по сере (2020) и по азоту в зонах ЕСА (2021); рост количества судов, потребляющих СПГ в качестве бункерного топлива, прогнозируется на уровне более 200 судов ежегодно (+29%).

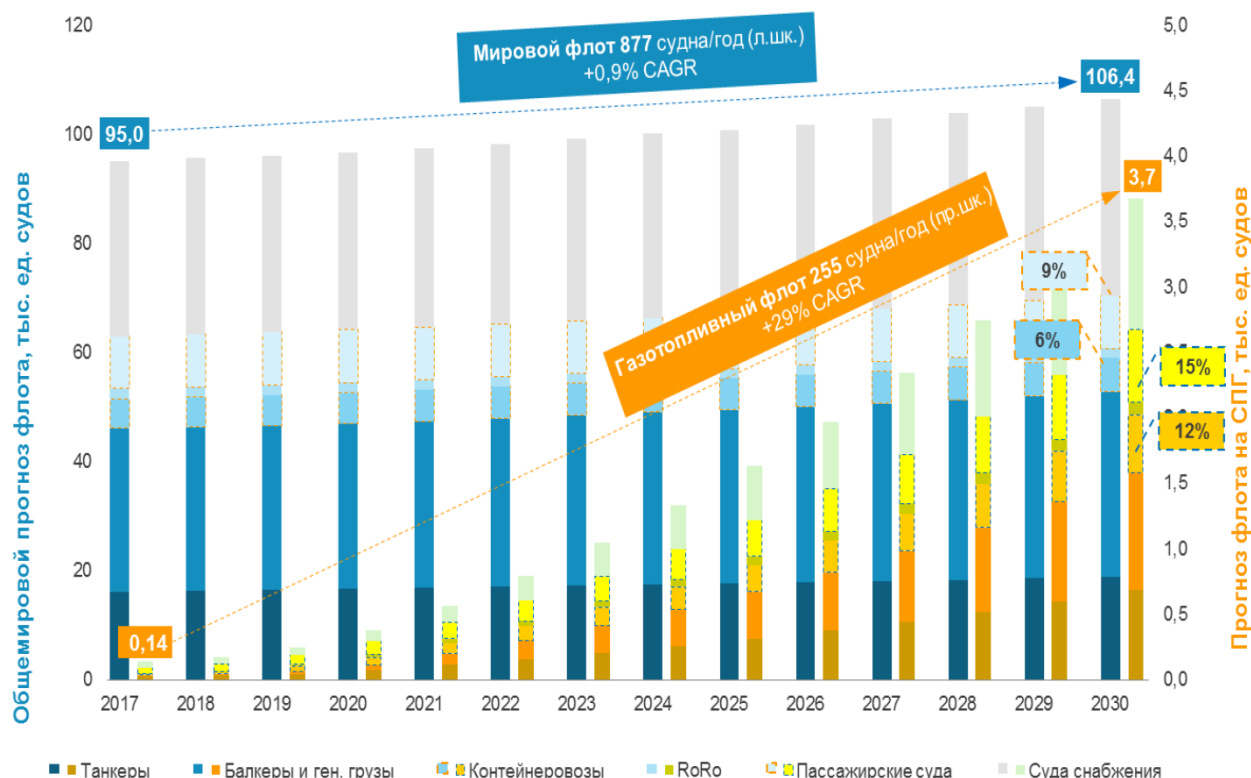


Рисунок 4: прогноз строительства газотопливного флота, тыс. ед. судов

*- под газотопливными судами подразумеваются морские суда с двух- и газотопливными двигателями, не включая газовозы СПГ, потребляющие выпарной газ. Ист.: Lloyds, DNV GL

Развитие бункерного рынка напрямую зависит от темпов роста мировой экономики, международной торговли и международных морских перевозок. В период с 2013 г. рост международных морских перевозок и объемов переработки морских грузов составлял в среднем от 2 до 4% в год. Согласно прогнозам ВТО такие темпы сохранятся и в ближайшие годы, что позволяет рассчитывать на сопоставимую динамику бункерного рынка. Согласно прогнозам компании Shell Marine к 2035 г. емкость мирового рынка бункерного топлива достигнет около 6,5 тыс. баррелей в день, что в нефтяном эквиваленте составляет около 320 млн. тн. топлива в год.

Ключевыми тенденциями рынка являются переход на более экологичные виды топлива, а также увеличение энергоэффективности судовых установок. Новые ограничения по выбросам, устанавливаемые международной морской организацией ИМО, ставят всех судовладельцев перед выбором способа соответствия новым экологическим требованиям. К 2035 г., согласно прогнозам экспертов, доля мазута составит не более трети в

структуре рынка судовых топлив, уступив место дистиллятам, гибридным сортам с пониженным содержанием серы и СПГ.

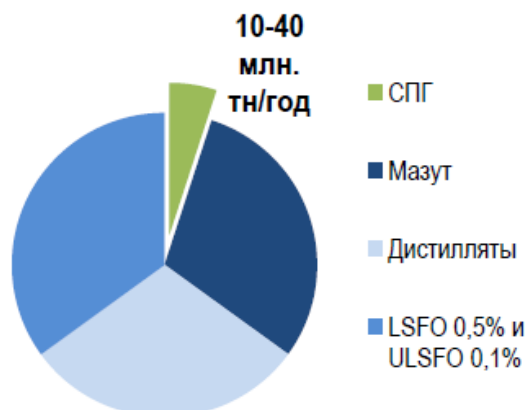


Рисунок 5: прогноз на структура мирового рынка судовых топлив в 2035 г.

Существующие прогнозы спроса и предложения СПГ даже на ближайшее будущее весьма противоречивы и могут различаться на один и даже два порядка. По сводной оценке нескольких специализированных организаций, минимальный и максимальный сценарии развития спроса сжиженного природного газа отличаются в разы. По различным оценкам, общий спрос морского и речного транспорта на СПГ для бункеровки в Европе к 2030 году может оцениваться в 20 – 27 млрд. куб м в год, в том числе, в бассейнах Балтийского и Северного морей - в 10 – 14 млрд. куб м в год.

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.

Европа

Европу можно назвать мировым лидером в использовании СПГ как судового топлива. В настоящее время подавляющее большинство судов (более 70%) на СПГ оперируют на внутриевропейских маршрутах. Среди европейских стран лидирует Норвегия.

Недавние расчеты показывают, что капитализация европейского рынка СПГ-бункеровки может к 2024 году превысить 12 млрд долларов. Сейчас в Европе активно обкатываются различные схемы бункеровки – «берег-судно», «судно-судно», «автоцистерна-судно».

В Стратегии мобильности и топлива Федерального правительства Германии природному газу как горючему для кораблей посвящена отдельная глава. «Сжиженный природный газ рассматривается как многообещающее альтернативное топливо для судоходства – в том числе для внутреннего судоходства», – говорится в Стратегии. Классификационное общество Det Norske Veritas (DNV), осуществляющее в определенном смысле функции технического надзора для кораблей, поддерживает идею перевода судов на газовое топливо.

Компания Containerships (входит в группу CMA CGM Group), специализирующаяся в области внутриевропейских мультимодальных контейнерных перевозок, 4 июля 2019 года впервые выполнила совмещенную операцию по бункеровке СПГ своего судна и разгрузке/погрузке контейнеров.

Эти одновременные производственные операции (SIMOPS) были выполнены, когда контейнеровоз NORD на СПГ топливе находился в порту Роттердам. Таким образом, судно стало первым контейнеровозом в Европе, которое было заправлено газовым топливом «борт-в-борт» в процессе разгрузки и погрузки контейнеров на судне. Для обеспечения бесперебойности погрузочно-разгрузочных работ и соблюдения безопасности бункеровки Containerships тесно сотрудничала с поставщиком судового топлива Shell, администрацией порта Роттердама и RST терминалом (компания Rotterdam Short Sea Terminals). Судно было забункеровано почти 200 тоннами сжиженного природного газа.

В компании Containerships считают, что благодаря таким совмещенным производственным операциям пребывание судна в порту может быть значительно сокращено при отсутствии эксплуатационных задержек. В конечном итоге это скажется на времени транспортировки судами CMA CGM контейнерных грузов между Северной Европой и странами Балтии.

CMA CGM, одна из первых линейных судоходных компаний, начавшая использовать для контейнерных судов СПГ, планирует к 2022 году получить 20 судов на СПГ, включая девять контейнеровозов вместимостью по 22 тыс. TEUs, которые будут вводиться в эксплуатацию CMA CGM с 2020 года.

Выделяются гранты на строительство и переоборудование судов на СПГ. Испанская круизная компания Balearia получила грант от Европейской Комиссии в размере 11,8 млн. EUR на переоборудование 5 судов на СПГ (20% от общего объема инвестиций), программы господдержки предусматривают скидки до 30% на портовые сборы для судов на СПГ (например, в п. Роттердам, Гётеборг).

Азия

Как правительства, так и компании Сингапура, Брунея, Южной Кореи, Японии и Китая демонстрируют явную заинтересованность в развитии СПГ-бункеровки.

Две сингапурские инженерные и сервисные компании заключили соглашение на 50 млн долларов по созданию и развитию небольшого бункеровочного узла в Юго-Восточной Азии. В Сингапуре запущена государственная Программа Singapore Green Initiative, направленная на то, чтобы стать «глобальным лидером в качестве экологически чистого порта». Согласно этой программе выдаются гранты до 70% от разницы в капитальных вложениях (до 2 млн. долл.(S\$) на судно) на строительство судов на СПГ, предусмотрены 25% скидки на портовые сборы для судов на СПГ.

Отдельно стоит упомянуть Южную Корею как безусловного лидера в продвижении идеи СПГ-судоходства в азиатском регионе. Правительство страны объявило о намерении заказать 140 судов стоимостью в 900 млн долларов, работающих на СПГ, у мелких и средних судостроительных компаний к 2025 году. Цель – придать новые силы местной судостроительной отрасли, стимулировать производство экологичных судов и, соответственно, развитие СПГ-бункеровки. Правительство Южной Кореи планирует также вложить более двух млрд долларов в бункеровочную инфраструктуру. К 2025 году шесть из десяти судов будут работать на сжиженном природном газе, сообщает корейский Pulse со ссылкой на опубликованный совместный отчет Корейского банка развития и Корейского агентства по содействию торговле и инвестициям.

Ожидается, что корейский внутренний рынок оборудования для судов на СПГ, который в основном представлен предприятиями малого и среднего бизнеса, увеличится к 2020 году до 10,5 млрд долларов.

В Японии компании K Line, Chubu Electric Power, Toyota Tsusho Corporation и Nippon Yusen Kabushiki Kaisha создали два совместных предприятия, цель которых - развитие бизнеса по СПГ-бункеровке в центральном регионе Чубу. Одно из совместных предприятий - Central LNG Marine Fuel Japan Corporation – будет заниматься собственно бункеровкой, а другое - Central LNG Shipping Japan Corporation – всеми вопросами, связанными с бункеровочными судами. Кроме того, Япония осуществляет бункеровку по схеме «судно-судно» в портах Йокогама и Нагойя.

Активно развивается газовый флот Китая. В настоящее время газотопливный речной флот Китая насчитывает порядка трех сотен судов на

СПГ, осуществляется поэтапное расширение собственных зон контроля за выбросами (ЕСА), ведется строительство заправочных станций вдоль судоходных магистралей. Государственные программы поддержки предполагают субсидии до 1 млн. юаней (~130 тыс. евро) на строительство/переоборудование речных судов на СПГ.

Индия намерена протестировать использование сжиженного природного газа (СПГ) для рыболовных судов в преддверии новых экологических стандартов Международной морской организации (ИМО), которые вступают в силу с января 2020 года. Стратегический совет по развитию и инновациям индийского штата Керала обратился к компаниям с сообщением о том, что он готов рассмотреть их пилотные проекты, которые бы предполагали такие решения. В качестве места для тестирования предлагается порт Кочи, в котором уже сейчас есть СПГ-терминал, используемый не на полную мощность. Модернизация существующей системы судовых дизельных двигателей предполагает, что корабли смогут работать как на СПГ, так и на дизельном топливе. В соответствии с проектом, в порту также установят резервуар для хранения СПГ и другого сопутствующего оборудования. Одновременно в Индии реализуются проекты по модернизации и строительству газотопливных судов для речного флота.

Развитие рынка СПГ бункеровки в РФ

В России пионером в деле эксплуатации танкерного флота на СПГ является ПАО «Совкомфлот», которое на протяжении трех последних лет ведет работу по переводу судов на газомоторное топливо. В сентябре 2015 года «Совкомфлот» (СКФ) и «Шелл» приступили к реализации сложного проекта с целью внедрения СПГ в качестве топлива для крупнотоннажных танкеров. В апреле 2017 года между компаниями «Шелл» и «Совкомфлот» было подписано соглашение об обеспечении крупнотоннажных танкеров нового поколения сжиженным природным газом в качестве судового топлива. В феврале 2018 года Shell заключил с ПАО «Совкомфлот» долгосрочные тайм-чартерные соглашения на эксплуатацию двух танкеров типоразмера Aframax (дедвейтом 114 000 тонн) с двухтопливными двигателями.

«Gagarin Prospect» - первый из них. Он носит имя первого российского космонавта Юрия Гагарина; в июле 2018 года судно вошло в чартер. Другой танкер, «Samuel Prospect», который назван в честь основателя компании Shell Transport & Trading Co сэра Маркуса Самюэля, был введен в эксплуатацию и передан Shell в апреле 2019 году.

Опыт технической и коммерческой эксплуатации «зеленых» танкеров СКФ востребован и российским судостроителями. В сентябре 2018 года

«Совкомфлот» подписал пакет соглашений с компанией «Роснефть» о размещении заказа на строительство серии из двух судов нового поколения на газомоторном топливе на ССК «Звезда» с последующим отфрахтованием этих судов «Роснефти».

Отдельно следует сказать о том, что в России компания «Газпромнефть Марин Бункер» приняла стандарт ISO 20519:2017 «Суда и морская технология – Специфика бункеровки судов, работающих на СПГ» для российского рынка морских перевозок. В документе подробно оговаривается технологический процесс и различные процедуры, связанные с СПГ-бункеровкой. Кроме того, приводятся требования к устройству топливоперекачивающих систем и рекомендации по обучению персонала.

«Газпромнефть Марин Бункер» также начала строить первый в России танкер-бункеровщик и планирует развивать СПГ-бункеровку в российских портах. Проект предусматривает использование в качестве ресурсной базы комплекс по производству, хранению и отгрузке СПГ ПАО «Газпром» в районе п. Высоцк – КСПГ КС «Портовая». Бункеровка будет осуществляться пилотным судном-бункеровщиком СПГ грузоместимостью 5800 м³ (срок ввода судна в коммерческую эксплуатацию - II кв. 2021 г.). В перспективе до 2030 планируется ввод в эксплуатацию дополнительно 2 судов-бункеровщиков СПГ в регионе.

В российских портах Балтики - регионе с наиболее строгими требованиями судовому топливу (ЕСА) представлены все целевые сегменты потребителей по переходу на СПГ: контейнеровозы, круизные суда, паромы, танкерный флот.

В июне 2019 г. в рамках Петербургского Международного Экономического Форума компанией «Газпромнефть Марин Бункер» подписаны соглашения о сотрудничестве в сфере бункеровки СПГ с 2 российскими компаниями-пионерами по переводу судов на СПГ: Совкомфлот (в эксплуатации 6 танкеров на СПГ, размещены заказы на 2 аналогичных судна) и Росморпорт (в стадии проектирования 2 железнодорожных паромов).

Таким образом, строительство судов на СПГ-топливе в мире набирает обороты. Топливная газомоторная революция из прогнозируемого будущего стала реальностью. Россия, обладая запасами газа, развитым судостроением и профильными научными, проектными организациями, имеет хороший потенциал для развития этого направления. При этом важно, чтобы добавленная стоимость формировалась на территории самой страны, появлялись эффективные отечественные проекты и технологии, создавались локализованные и собственные производства необходимого комплектующего оборудования. Эту задачу может помочь решить Центр

импортозамещения и локализации судового комплектующего оборудования ЦНИИ «Курс», в рамках которого создана единая электронная централизованная система судового комплектующего оборудования.

Основная тенденция развития рынка бункеровки состоит в том, что реализация СПГ для целей бункеровки будет проходить по средне- и долгосрочным контрактам длительностью 3-10 лет, без существенного роста спотового рынка в перспективе до 2025 г. Данная тенденция связана с тем, что на рынке СПГ-бункеровки пока не сформирован единый подход к ценообразованию. В связи с этим как потребители, так и поставщики нового вида судового топлива стремятся зафиксировать взаимные обязательства на срок, необходимый как для обеспечения окупаемости инвестиций, так и для установления единых «правил игры» на новом рынке.

Рассматривая речное судоходство, стоит упомянуть, что многие крупнейшие промышленные города России расположены на внутренних водных путях, общая протяженность которых превышает 100 000 км. Имеющиеся в этих городах АГНКС и ГРС (газораспределительные станции) могут стать базой для организации заправки речных судов сжиженным природным газом. Газ может доставляться к береговым заправочным комплексам с помощью автомобильных средств.

Создание береговой инфраструктуры заправки судов водного транспорта природным газом не требует продолжительного времени и больших капитальных затрат. По оценкам специалистов, при наличии средств на проектирование, строительство и ввод в эксплуатацию опытного комплекса может потребоваться не более полутора лет. Экономические и экологические результаты позволят окупить затраты за 5-7 лет.

Для успешного развития бункеровки СПГ в РФ необходим комплекс мер государственной поддержки нового рынка:

- ✓ создание на территории терминальных мощностей СПГ в портах РФ инфраструктуры и оборудования для бункеровки СПГ;
- ✓ субсидирование, льготное кредитование для проектов по строительству/переводу судов на СПГ;
- ✓ разработка программ по переводу на СПГ обслуживающего флота, оперирующего в районе терминалов СПГ;
- ✓ внедрение систем скидок на портовые сборы и налоговых льгот для судов на СПГ и судов-бункеровщиков СПГ;
- ✓ разработка программы развития в РФ производства газотопливных двигателей и криогенного оборудования;
- ✓ импортные льготы при отсутствии аналогов производства в РФ.

IV. ПРЕДПОСЫЛКИ

1. Экологические предпосылки

По мнению экспертов Lloyd's Marine Intelligence, 75% товаров в мире перевозит торговый флот, насчитывающий более 50 тысяч кораблей общей грузоподъемностью около 1,4 млрд. тонн. Негативное воздействие водного транспорта на атмосферный воздух, особенно в портах, также велик. Использование СПГ в качестве топлива главных судовых двигателей, а также для производства электроэнергии для обеспечения нужд кораблей во время стоянки в портах – позволяет сдерживать рост загрязнения и выполнять ужесточающиеся экологические ограничения Международной морской организации (ИМО), действующая под эгидой ООН.

Морское судоходство наносит большой вред окружающей среде. Корабли сжигают тяжелое топливо и выделяют большое количество частиц сажи, оксиды серы и оксиды азота, которые опасны как для здоровья, так и для окружающей среды. Плюс ко всему негативный баланс оксида углерода – приблизительно миллиард тонн или 4,5% мирового выброса двуокиси углерода. Борьба за нулевые выбросы идет по всем направлениям. С 2015 года ограничено содержание серы в судовом топливе. В 2016 – для новых кораблей ограничено содержание оксидов азота.

В 1973 году заключена, а в 1978 году модифицирована Конвенция «О предотвращении загрязнения судами» (MARPOL 73/78). В 1997 году она была дополнена «Протоколом 1997», включавшим в себя Приложение № VI «Порядок Предотвращения Загрязнения Воздуха Кораблями», вступившим в силу в 2005 году. Конвенция ограничивает содержание в топливе серы (SOx) и азота (NOx) твердых частиц (PM).

На рисунках 6, 7 приведены современные требования (максимальные значения) к судовому топливу. Переход на использование СПГ позволяет выполнить эти требования.

Зоны применения	Нормы	Дата введения	NOx	PM ₁₀	Сера
Внутренние воды	CCR этап 4	01.01.2016	1,5 г/кВтч	0,02 г/кВтч	0,001%
Прибрежные воды	SECA этап 4	01.01.2015	Не регулируют	Не регулируют	0,10 %
Открытое море	IMO этап 3	01.01.2020	Не регулируют	Не регулируют	0,50 %

Рисунок 6: современные требования (максимальные значения) к судовому топливу

Регион	2010	2012	2015	2020
Особые районы (SECAs)	1,0	-	0,1	-
Весь мир	4,5	3,5	-	0,5

Рисунок 7: требования Приложения VI MARPOL к содержанию серы в топливе, %

СПГ является намного более экологически чистым видом топлива по сравнению с традиционными. Сравнение выбросов при использовании различных видов топлива на морском транспорте представлено на рисунке 8:

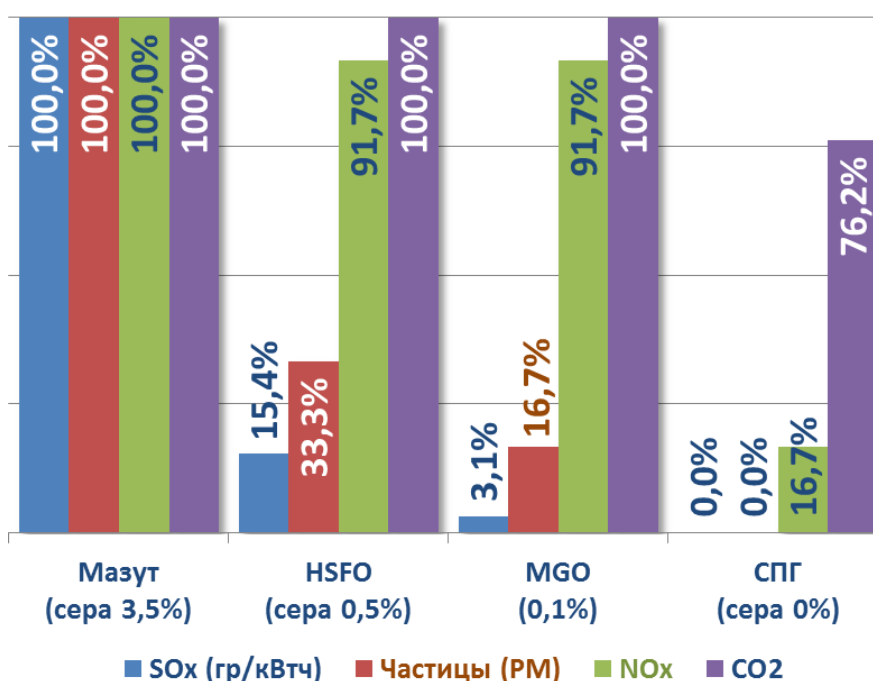


Рисунок 8: относительное содержание загрязняющих веществ в отработавших газах различных видов судового топлива

В частности, по сравнению с традиционными видами судового топлива снижение выбросов вредных веществ в атмосферу в процентах у контейнеровоза Isla Bella, - первого в мире контейнеровоза на СПГ, - составило по твердым частицам 98%, по оксидам серы - 97%, по двуокиси углерода – 72%, по оксидам азота – 60%.

Конвенция Marpol также определяет географические зоны действия ограничений на выбросы (Emission Control Areas - ECAs). Основные зоны с регулируемым выбросами определены Международной морской

организацией и охватывают прибрежные акватории с высокой концентрацией экономических центров и интенсивностью пассажирского и грузового паромства.

В настоящий момент в мире установлены следующие зоны регулирования выбросов (ECA):

- ✓ **Северо-американская зона** (тихоокеанское и атлантическое побережье), с 2012 года; по Приложению № VI ограничивает выбросы SO_x, NO_x и частиц (PM);
- ✓ **Побережье США в Мексиканском заливе и Карибский бассейн** с 2014 года; по Приложению № VI ограничивает SO_x, NO_x и частиц (PM);
- ✓ **Балтийское и Северное моря**, с 1.01.2015; по Приложению № I и V MARPOL ограничивает только SO_x;
- ✓ **Средиземное и Черное моря**; ограничивает выбросы SO_x, NO_x и частиц (PM); территориальные воды Турции за исключением проливов и содержания 1,5% серы в топливе для пассажирских судов (с 2012 г.) – Палата судоходства Турции (для SO_x);
- ✓ **Южно-африканская зона.**
- ✓ **Азиатско-тихоокеанская зона**; Южно-Китайское море (с 2014 г.) – Гонконг-Шанхай-Тянджин - Минтранс КНР (только SO_x).
- ✓ **Австралийская зона.**

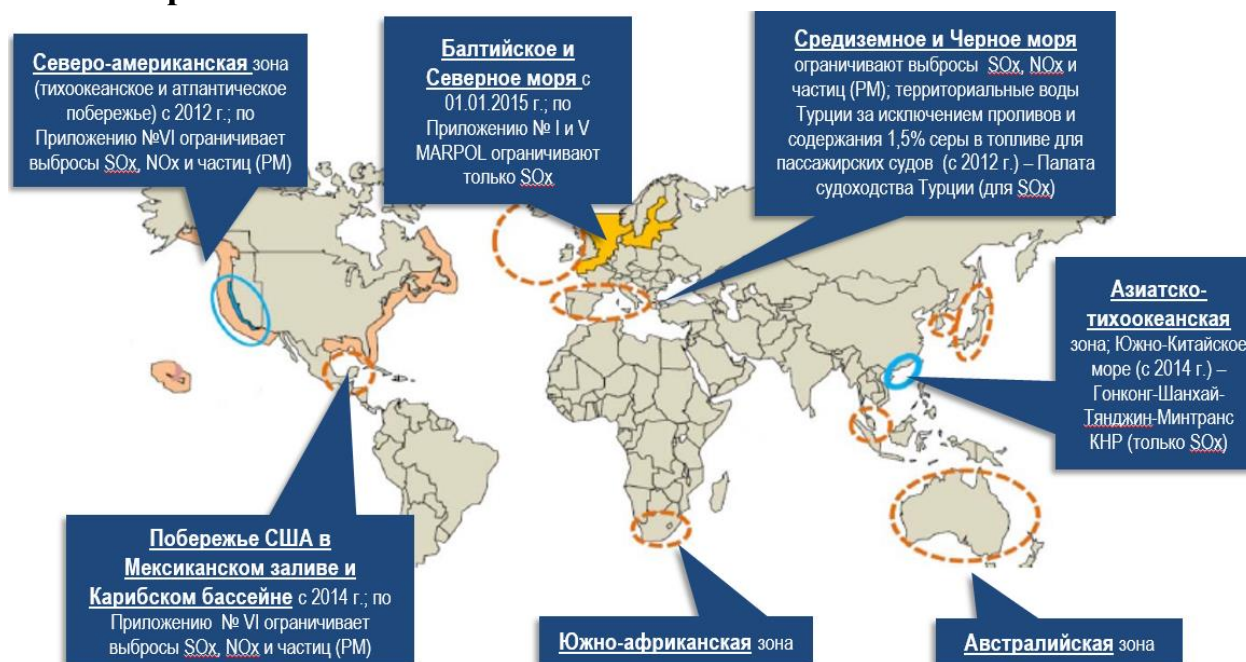


Рисунок 9: основные зоны с регулируемыми выбросами

В дальнейшем, можно ожидать распространения зон регулирования выбросов и на другие регионы.

Штрафные санкции в случае несоответствия топлива экологическим нормам Marpol, исчисляемые на основании продолжительности пребывания судна нарушителя в зоне ЕСА, различаются от страны к стране. Так в Германии они могут составлять 7000 \$, 62 000 \$ в день в Польше и 83 000 \$ в Великобритании. В США аналогичный штраф может достигать 25 000 \$ в день.

2. Экономические предпосылки

Экономический аспект перехода на использование СПГ является определяющим при выборе конкретного пути выполнения требований конвенции Marpol: совершенствование технологий и очистки отработавших газов (например, применение скрубберов) или переход на использование более чистых видов топлива (например, СПГ).

Компания Wärtsilä совместно с компанией Shell провела исследование, посвященное оценке экономической эффективности использования СПГ в течение 20-летнего цикла с учетом капитальных затрат.

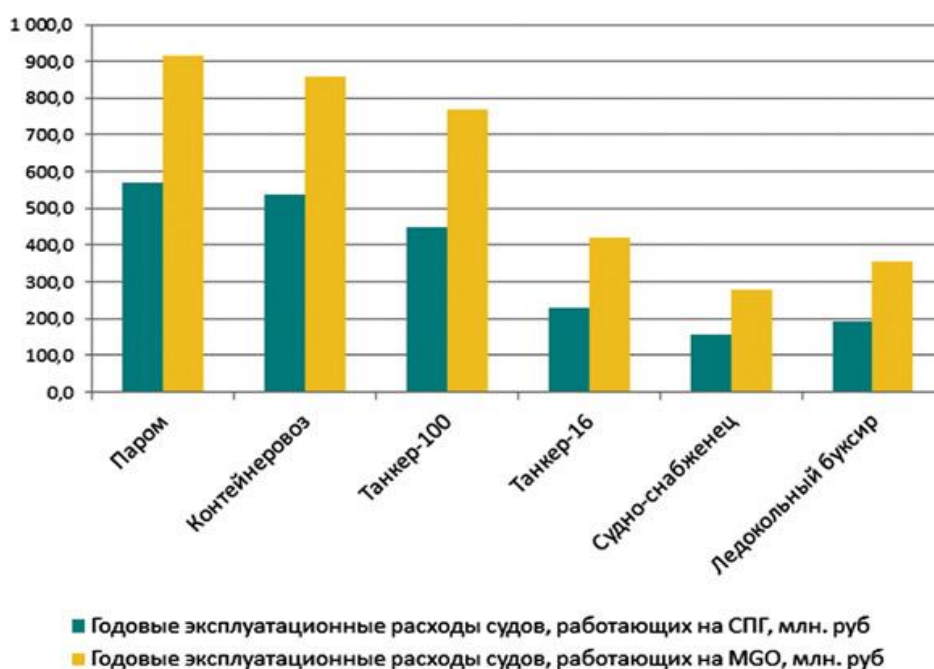


Рисунок 10: сравнение годовых эксплуатационных расходов судов, работающих на СПГ и MGO анализ 20-летнего цикла жизни судна на разных видах топлива (Wärtsilä), млн\$.

Экономические преимущества СПГ позволяют в приемлемые сроки окупить затраты на приспособление судна к работе на СПГ, технологическое оборудование и стоимость бункеровки. Срок окупаемости инвестиций зависит от таких факторов, как размер судна, длительность перехода, время нахождения в зоне ЕСА.

По данным голландской компании LNG 24 дополнительные затраты на модернизацию речного судна для работы на СПГ в объеме € 500 тыс. - € 1 млн. окупаются за 5-7 лет. Экономия эксплуатационных затрат достигается за счет более дешевого топлива, сокращения стоимости обслуживания двигателей, отсутствия дополнительных затрат в систему очистки отработанных газов. Применение скрубберов не дает такого эффекта, поскольку эксплуатационные затраты увеличиваются, в том числе, и на расходные материалы (присадки типа Ad Blue).

Исследование показало, что в зависимости от мощности двигателя капитальные затраты на 1 кВт мощности газового двигателя составляют 915-740 \$, что превышает удельные затраты на двигатель на нефтяных топливах в 525-640 \$/кВт. Однако, с учетом затрат на скруббер, удельные затраты судов на СПГ становятся даже ниже, чем на HFO.

Согласно исследованию, проведенному международной ассоциацией SEA/LNG для контейнеровоза грузопместимостью 14000 TEU, задействованного на линейном маршруте Азия – Западное Побережье США, срок окупаемости инвестиций составляет до 2 лет.

При этом следует учитывать, что в условиях низких цен на нефть СПГ все же испытывает сильное давление со стороны более тяжелого бункеровочного топлива – судового мазута (HFO), но сохраняет достаточное преимущество по сравнению с морским дизельным топливом MGO (15% - экономия объема расходуемого топлива относительно MGO).

3. Инфраструктурные предпосылки.

Активное строительство терминалов СПГ на ключевых судоходных маршрутах создает новые возможности для расширения географии бункеровки СПГ.

По состоянию на 2019 год в мире насчитывается более ста крупнотоннажных действующих заводов по производству СПГ общей мощностью порядка четырехсот млн т/год и около двухсот действующих регазификационных терминалов общей мощностью более одного трлн м³/год. Большая часть объектов располагается в прибрежных зонах для коммерческой эффективности и целесообразности транспортировки углеводорода

посредством судового транспорта. Таким образом, существует множество направлений перспективного развития бункеровочной инфраструктуры и сферы деятельности в целом.

География мощностей по сжижению газа, регазификации и маршрутов судов-газовозов по состоянию на 2018 год приведена на рисунке 11:

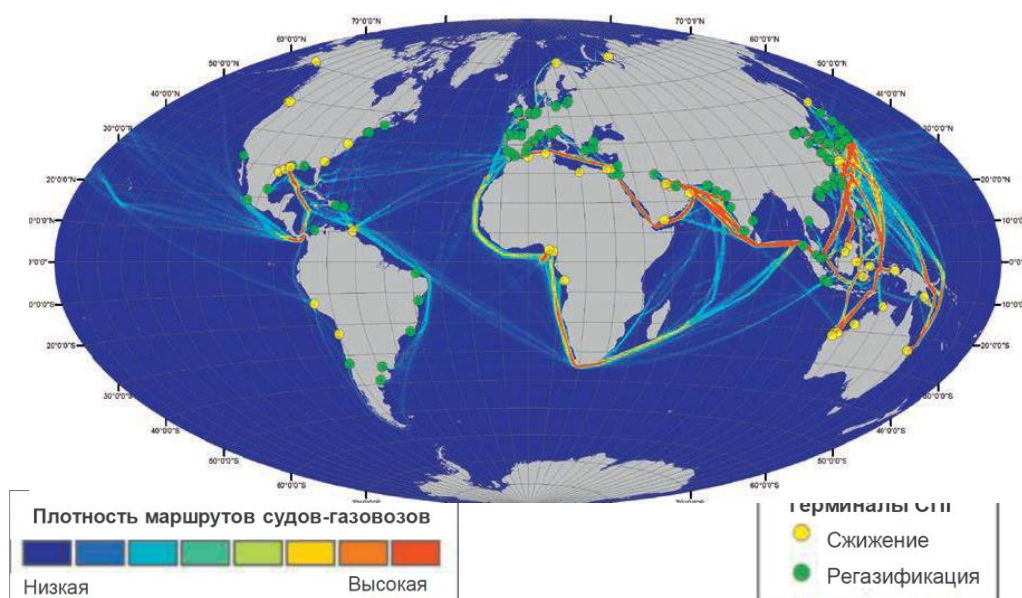


Рис 11: География мощностей по сжижению газа, регазификации и маршрутов судов-газовозов в 2018 г.

На текущем этапе инфраструктура для бункеровки СПГ характеризуется более высокой капиталоемкостью, относительно проектов по бункеровке традиционными видами топлива. Данная тенденция характерна для стартапов. По мере развития нового рынка и освоения серийного производства ключевых элементов инфраструктуры прогнозируется сглаживание данных различий.

V. ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ, ПРИМЕРЫ СУДОВ НА СПГ

В последние годы расширяется гамма судов, использующих СПГ в качестве топлива – контейнеровозы, авто-пассажирские паромы, накатные суда, суда класса Ro-Rax, суда класса Con-Ro, круизные суда, замснаряды, ледоколы, буксиры, буровые суда, самоподъемные буровые платформы, суда снабжения оффшорных объектов, быстроходные паромы, в т.ч. авто-пассажирские, танкеры различных типов, газовозы для разных видов газов, рыболовные суда, суда обеспечения рыбных ферм, буксиры, речные суда различного назначения и ряд других.

Сюда же можно отнести газотопливные суда, имеющие знак символа класса «LNG-ready». На таких судах выполнен комплекс подготовительных работ, которые обеспечивают возможность использования на них бункерного СПГ, и в дальнейшем такие суда можно будет переоборудовать в газотопливные.

В настоящее время в мире ведутся интенсивные разработки в области судовых двигателей, систем хранения и подготовки топлива, оборудования для бункеровки судов, портового оборудования. Примеры применения СПГ в различных сегментах водного транспорта приведены далее.

1. Круизные лайнеры

Ввиду наличия свободного пространства на круизных лайнерах для размещения СПГ-танков и особенностей конструкции таких судов, использование СПГ в круизном судоходстве становится все более популярным.

Так, в августе 2018 года Meyer Werft (Германия) спустила на воду крупнейшее круизное судно на СПГ для AIDA Cruises. Церемония передачи судна заказчику с подписанием приемо-сдаточной документации прошла в Бремерхафене 15 ноября 2018 года. AIDAnova стала первым в мире круизным лайнером, которое использует как в море, так и при заходе в порты в качестве судового топлива СПГ. До 2023 года немецкая верфь Meyer Werft построит для Aida Cruises еще два лайнера нового поколения с движительной установкой на СПГ. Заказы лайнеров на СПГ также размещают другие мировые круизные операторы Carnival, Royal Caribbean, Ponant.

Четвертая в мире в своей нише и крупнейшая в мире частная круизная компания MSC Cruises, базирующаяся в Швейцарии, также пошла по пути метанизации своих судов. 6 апреля 2016 года в Елисейском дворце в присутствии Президента Франции Франсуа Оланда, основателя и Исполнительного Президента MSC Cruises Жанлуиджи Апонте (Gianluigi Aponte) и Генерального директора французской судостроительной компании STX France Лорана Кастена (Laurent Castaing) было объявлено о подписании

письма о намерениях построить четыре круизных лайнера нового поколения на сжиженном природном газе. Стоимость строительства составляет почти 4,5 млрд. Евро. Заказчик (MSC Cruises) намерен получить первый из четырех лайнеров в 2022 году. Следующие - в 2024, 2025 и 2026 годах.

Круизный паром Viking Grace, построенный в 2013 году специально для маршрута Стокгольм (Швеция) — Турку (Финляндия), использует в качестве топлива российский СПГ. Одним из важных показателей является время бункеровки. Зачастую оно весьма ограничено расписанием коммерческой работы. Для парома Viking Grace была разработана специальная скоростная система, обеспечивающая прием 60 тонн СПГ за один час. Бункеровка осуществляется в Стокгольме по схеме «корабль - корабль».



Рис 12: круизный паром Viking Grace

Паром оснащен четырьмя газодизельными силовыми установками Wartsila (запальная доза дизельного топлива = 2%), работающими на электрогенераторы. Расход природного газа составляет 3200 кг/час, дизельного топлива 64 кг/час. Себестоимость электроэнергии 0,12 – 0,14 Евро/кВт.



Рисунок 13: размещение емкостей для СПГ на корме парома и баржа-бункеровщик Seagas4

Основные характеристики парома: Viking Grace

- водоизмещение 57000 тонн;
- дедвейт 5000 тонн;
- габариты: длина 218 метра, ширина 31,8 метра;
- осадка: 6,5 метра;
- скорость хода: 22 узла;
- ледовый класс: 1A Super;
- экипаж: 200 человек⁴².

Паром может вместить 2800 пассажиров. На его борту находятся 880 кают. На автомобильных палубах имеется 1275 линейных метров места для грузовиков и 1000 линейных метров для легковых автомобилей.

Поставки СПГ осуществляются с российского комплекса по производству СПГ в г. Псков. Паром потребляет порядка 25 тыс. т СПГ в год.



Рисунок 14: комплекс по производству СПГ в г. Псков.

2. Ледоколы

Строительство судов на СПГ перспективно и для арктического судоходства, ведь в августе 2018 года президент России Владимир Путин в рамках совместной пресс-конференции с президентом Финляндии Саули

Ниинистё назвал «абсолютно правильным» предложение последнего об использовании СПГ в качестве топлива в Арктике. В самой Финляндии уже имеется один двухтопливный ледокол, использующий СПГ - Polaris. Правда, его автономность достаточно низкая и составляет 10 суток. Бункеровка СПГ производится с автомобилями в Торнио (Финляндия), однако, используя дизельное топливо, ледокол демонстрирует большую маневренность.



Рисунок 15: финский двухтопливный ледокол Polaris

Polaris, первый в мире ледокол, работающий на СПГ, был построен в 2016 году на верфи Arctech Helsinki Shipyard. Заказчик корабля – Финское транспортное агентство (Finnish Transport Agency). Ледопроездимость судна – 1,6 м на скорости 6 узлов (11 км/час); 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/час). Кроме основной функции ледокол используется 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.

У России имеются свои планы по строительству ледоколов на СПГ для обслуживания газовых месторождений. Так, ФГУП «Атомфлот» планирует построить серию из четырех таких ледоколов. По планам компании, это должны быть полноценные арктические ледоколы с мощностью на валах не менее 40 МВт. Для оперирования этими ледоколами Новатэк и «Атомфлот» планируют создать совместное предприятие

3. Специализированные суда и паромы

В 2012 году в Норвегии было построено и с 2013 года успешно эксплуатируется вспомогательное судно снабжения «Viking Prince». Длина и ширина судна составляют: 90 м x 21 м, осадка (мин./сред./макс.): 3,0 м / 5,5 м / 23,5 м; скорость (средняя / макс.): 9,0 / 15,4 узлов; полная грузоподъемность: 6055 тонн.



Рисунок 16: судно снабжения Viking Prince на СПГ



Рисунок 17: паром «Francisco» компании Viquebus (слева) и авто-пассажирский паром для местных линий «Glutra» (двухтопливная ДЭУ) (справа)



Рисунок 18: авто-пассажирский паром для местных линий «Molderfjord» (двухтопливная ДЭУ)



Рисунок 19: авто-пассажирский паром для Рисунок пассажирский паром на СПГ «Balearia», Испания

4. Грузовые суда

По норвежскому заказу в 2015 году в Китае построено газовое грузовое судно Kvitbjorn (Белый медведь), которое прошло из Тихого в Индийский океан и далее через Суэц, Средиземное море, Гибралтар, Ла-Манш и Северное море в Берген. Во время похода судно бункеровалось в Кочи, Индия и Картахене, Испания. По мнению судовладельца, главным результатом является не столько факт трансокеанского перехода, сколько подтверждение возможности применения СПГ возможно на морских линиях любой протяженности.

Корабль оснащён газовыми двигателями Rolls-Royce Bergen B35:40L9PG на СПГ – именно газовым, а не газодизельным, которым в основном отдается предпочтение, – мощностью 3940 кВт (5300 лс). СПГ хранится в емкости вместимостью 380 м³. Содержание CO₂ в отработавших газах сокращено на 40%.



Рисунок 20: Грузовое судно Kvitbjorn

Судно может перевозить до 5000 тонн различных грузов.

СПГ-революция коснулась и балкеров. Так, в октябре 2018 года южнокорейская судоходная компания H-Line, принадлежащая местной частной акционерной компании Hahn & Co, заключила с судостроительным заводом Hyundai Samho Heavy Industries (HSHI) контракт на строительство двух сухогрузных судов типоразмера Capesize на СПГ дедевейтом 180 тыс. тонн. Заказанные суда после передачи в эксплуатацию в 2021 году будут использоваться на маршруте между Южной Кореей и Австралией. Балкеры станут первыми в Южной Корее судами такого типа на СПГ топливе, которые

будут работать на международном маршруте. Правительство Южной Кореи инвестирует до 9,6 млрд вон в проект, призванный помочь развитию этого сектора морского транспорта, чтобы соответствовать международным ограничениям по уровню содержания серы в судовом топливе, которые должны вступить в силу в 2020 году.



Рисунок 21: Танкер-химовоз «Bit Viking»



Рисунок 22: Танкер «LNG Greenstream»



Ри

Рисунок 23: грузовое судно Coral Star на СПГ

Корабль Coral Star оснащен двумя главными газодизельными двигателями Wartsila. СПГ хранится в двух горизонтальных емкостях вместимостью 100 м³ каждая. Система хранения СПГ разработана компанией Cryonorm. Компания Cryonorm комплектует бортовые системы хранения СПГ емкостями вместимостью 40, 60 , 100 и 130 кубических метров.

Наряду с другими мировыми компаниями внедрением природного газа на главных судовых двигателях занимается широкопрофильная компания Crowley Maritime Corporation, США. С 2015 года в компании функционирует специальная Группа по СПГ, отвечающая за реализацию корпоративной экологической стратегии EcoStewardship©.



Рисунок 24: Газодизельный контейнеровоз/паром El Coquí

Так, на первых двух грузовых судах нового типа (El Coquí (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 тонн, высота и длина – по 12,49 м, ширина – 4,48 м. Скорость корабля – 22 узла (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 кораблей компания Crowley рассматривает варианты создания собственного бункеровочного флота.



Рисунок 25: Концепция бункеровочной баржи

Эксперты компании Crowley высоко оценивают экологические преимущества газовых двигателей по сравнению с традиционными: полное отсутствие в отработавших газах оксидов серы (SOX), 92-процентное сокращение оксидов азота (NOX), 32-процентное сокращение двуокиси углерода (CO₂), коррозионная нейтральность.

5. Военные суда

Сжиженный природный газ может эффективно применяться не только на гражданских судах, но и на военных и полицейских кораблях. К использованию СПГ достаточно давно присматриваются военные: уже несколько лет на вооружении береговой охраны разных стран стоят сторожевики проекта Barentshav, Bergen и Sortland (Норвегия), к СПГ проявляют интерес в Береговой охране США.



Рисунок 26: Бункеровка норвежского сторожевика от автомобильной цистерны СПГ



Рисунок 27: Финский патрульный корабль на СПГ, проект UVL10

Финский патрульный корабль UVL10 на СПГ оснащённый вертолетной площадкой, имеет длину 96 метров, ширину 17 метров. Решение о строительстве боевого корабля на СПГ принято во исполнение Государственной программы сокращения экологического ущерба на море и в целях соблюдения новых требований по выбросам, предъявляемым к морским судам в Балтике, начиная с 2015 года.

6. Речные суда

Начинают появляться газотопливные суда для работы на внутренних водных путях. В первую очередь – для системы Рейн-Майн-Дунай, на которую распространяются специальные экологические требования ЕС.



Рисунок 28: баржи Greenstream и Greenrhine на СПГ (газодизель-генератор)

Компания Shell эксплуатирует такие 110-метровые баржи в транспортном узле Амстердам – Роттердам – Антверпен (ARA - Amsterdam-Rotterdam-Antwerp) и в Рейнском коридоре (Rhinetrack), Германия – Швейцария для перевозки грузов во внутренних водоемах. На каждой барже установлен силовой агрегат Wartsila 20DF. Двигатель наряду с системами хранения, подготовки и управления подачей СПГ является элементом интегрированного комплекса LNGPac™, разработанный Wartsila вместе с голландской компанией Cryonorm.

Во исполнение принятых на себя обязательств в рамках Парижской конференции 2015 года по изменению климата (COP-21) Индия включилась в работу по газификации речного транспорта. В Министерстве водного транспорта был разработан проект перевода на СПГ части барж на реке Ганг. Эксплуатация судов на сжиженном метане уже началась в 2018 году. К 2020 году метановые баржи должны перевезти 17,5 млн. т грузов.

Крупный проект также предложен компанией China Natural Gas, Inc для реки Янцзы, (Китай), ведутся работы для внутренних водных путей США и Канады.

7. Портовая техника на СПГ

Применение СПГ на водном транспорте не ограничивается исключительно замещением традиционных видов судового топлива. Отрабатываются технологии автономного энергоснабжения за счет применения СПГ.

Для обеспечения жизнедеятельности корабля во время стоянки в порту традиционно используется электричество, вырабатываемое бортовыми генераторами с приводом от вспомогательных двигателей. Гамбургская компания Becker Marine Systems предложила два новых решения для

обеспечения судов электроэнергией во время стоянки в портах, основой которых является газовый двигатель на СПГ.

В первом случае полный комплект технологического оборудования монтируется на автономной барже (an LNG Hybrid Barge), которую соединяют с кораблем-потребителем.

Баржа имеет длину 77 метров и ширину 11, осадка около 1,7 метра. Запас СПГ на борту баржи составляет 15 тонн. Для выработки тока на барже установлены пять генераторов общей мощностью 7,5 МВт (50/60 Гц); в качестве приводов используются газовые двигатели Caterpillar. Такая схема успешно опробована для питания круизных лайнеров в порту Гамбурга, Германия. Первая в мире плавучая электростанция на СПГ для корабельных нужд получила название Hummel – шмель.

Во втором - оборудование монтируется в специальном 40-футовом контейнере, который на время стоянки в порту устанавливают на борту грузового судна, например, контейнеровоза, где имеется достаточно места для временного размещения системы. Энергетический комплект LNG PowerPac® способен вырабатывать 1,5 МВт электроэнергии. Запаса СПГ в 20-футовой емкости (8,2 т) хватает на 30 часов работы.

В феврале 2016 года компания Becker Marine Systems получила правительственный грант (семизначная цифра) на разработку полной концепции альтернативного энергоснабжения кораблей в порту.

В обоих случаях обеспечивается существенная экономия затрат на топливо и снижается экологическая нагрузка на порт. Выбросы NOx при использовании СПГ снижаются на 80%, а CO₂ – на 20% – 30%.

По мнению специалистов компании Wartsila самоходные энергоблоки могут производить и передавать передачи береговым потребителям до 250 МВт электрической и тепловой энергии. Комплекс строится по модульному принципу, и при необходимости его можно легко нарастить.



Рисунок 29: Плавающий энергоблок Hummel (Шмель)

Разработчики видят в предложенном решении следующие преимущества и возможности:

- Обеспечение энергией самых «труднодоступных» клиентов (на островах, во фьордах и т.д.), в т.ч. недоступных для судов с осадкой менее 6 метров.
- Сокращение стоимости тепла и энергии за счет замещения нефтепродуктов природным газом для тепло- и электро-генерации у изолированных потребителей.
- Упразднение процедур оформления земельных участков.
- Сокращение времени получения разрешительных документов.
- Оперативная и простая эвакуации оборудования.
- Гибкое реагирование на изменение рыночной конъюнктуры.
- Заключение коротких (до года) и средних (2 – 3 года) по продолжительности контрактов.
- Снижение капитальных затрат по сравнению с аналогичными наземными объектами.

Ecomotive Solutions, входящая в инжиниринговую группу Holdim Group вместе с компанией Global Service, провели в порту Ливорно работы по переводу на сжиженный природный газ козлового крана типа на резиновых колесах Kalmar Crane. Работы проведены в рамках проекта Морские

терминалы (Sea Terminals), направленного на формирование новой культуры управления портами и внедрение эко-эффективных решений как ключевого инструмента сокращения вредных выбросов от любых средств перемещения грузов.

Кран оборудован двигателем Cummins, на котором смонтирована система управления d-gid (diesel-gas dynamic injection - газодизельная система с динамическим впрыском топлива), разработанная компанией Ecomotive Solutions. СПГ хранится в криобаке вместимостью 600 литров производства компании HVM. Криосистема соответствует Правилам 110 ЕЭК ООН.

Переход на СПГ может обеспечить 20-процентное сокращение затрат на топливо. Экологический выигрыш выразится в снижении содержания твердых частиц в отработавших газах на 40% и CO₂ – на 10%.

Разработчики подчеркивают, что топливная система Ecomotive Solutions сохраняет все мощностные и динамические характеристики базового двигателя и при отсутствии природного газа автоматически возвращается в дизельный режим.



Рисунок 30: портовый козловой кран Kalmar на СПГ и криобак HVM (справа)

VI. РОССИЙСКИЕ РАЗРАБОТКИ В ОБЛАСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СПГ В КАЧЕСТВЕ ТОПЛИВА НА ВОДНОМ ТРАНСПОРТЕ

В 2018 году «Совкомфлот» приступил к опытной коммерческой и технической эксплуатации первых в мире крупнотоннажных нефтеналивных танкеров, использующих СПГ-топливо в качестве основного. Головное судно «зеленой» серии, «Gagarin Prospect», завоевало несколько престижных международных наград.

В порту Роттердам (Нидерланды) специализированное судно Cardissa концерна Shell осуществило первую операцию по бункеровке танкера «Gagarin Prospect». Судно-бункеровщик Cardissa вместимостью 6 500 куб. м СПГ находится под управлением компании Shell Shipping & Maritime.



Рисунок 31: танкер «Gagarin Prospect»

2 сентября 2019 года впервые в истории судоходства крупнотоннажный нефтеналивной танкер «Королёв» преодолел трассу СМП (Севморпуть), используя на всем ее протяжении СПГ. Продолжительность перехода от мыса Желания до мыса Дежнёва составила: 7,25 суток; 2118 мор. миль; средняя скорость: 12,2 узла. Еще два Афромакса «зеленой» серии будут построены на верфи «Звезда» и приняты в эксплуатацию с 2022 по 2023 гг.

В апреле 2019 года ССК "Звезда" и "Совкомфлот" заключили контракт на строительство пилотного судна-газовоза для проекта "Арктик СПГ 2". Ввод в эксплуатацию запланирован с 2023 по 2026 гг. Всего в перспективе должно быть построено 17 танкеров.



Рисунок 32: Проект судна-газовоза для проекта "Арктик СПГ 2"

Одним из перспективных российских проектов в области развития газотопливного флота является проектирование и строительство двух автомобильно-железнодорожных паромов газоходов ледового класса Arc 4 на СПГ для линии Усть-Луга - Балтийск (проект CNF19M) - «Маршал Рокоссовский» и «Генерал Черняховский». Проект реализуется ФГУП «Росморпорт» совместно с ООО «Невский ССЗ» (подрядчик), ООО «Морское инженерное бюро дизайн СПб» (проектант) и Субподрядной верфью «Kuzey Star Shipyard» (Турецкая республика).

Проект реализуется для обеспечения транспортной доступности Калининградской области, направленный на развитие паромного сообщения в рамках Федеральной целевой программы развития Калининградской области.



Рисунок 33: проект автомобильно-железнодорожного паром-газохода CNF19M

Судно предназначено для перевозки железнодорожных составов российского стандарта с шириной колеи 1520 мм, а также других накатных грузов, включая опасные грузы.

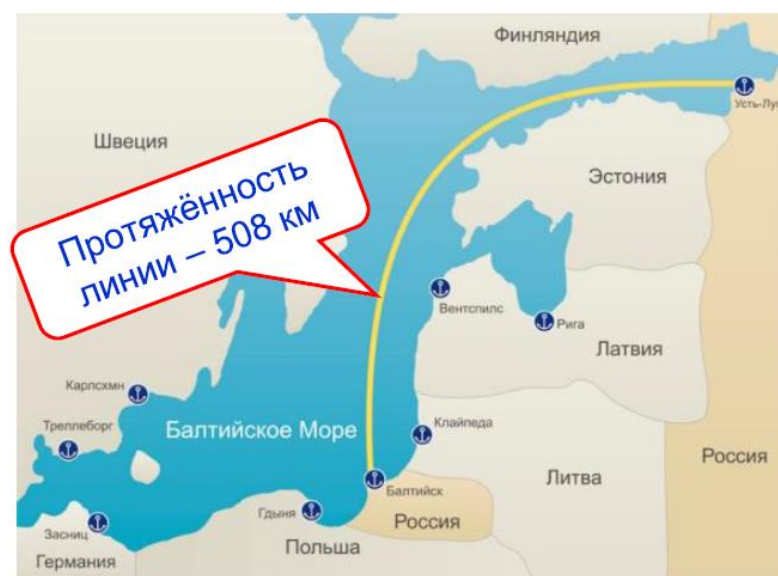


Рисунок 34: регион эксплуатации автомобильно-железнодорожных паромов CNF19M

Особенностью проекта является возможность работы энергетической установки на СПГ или дизельном топливе с низким содержанием серы, что позволяет снизить выбросы выхлопных газов в окружающую среду

Основные характеристики паромов проекта CNF19 M:

Параметр	Значение
Грузовместимость	-по ж/д составам –80 ед. (ж/д цистерны габарита Т-1 с длиной между автосцепами 12020 мм)
	по автомобильной технике –58 ед. (грузовой автомобиль с полуприцепом длиной 12-13,5 м (автопоезд 16,5 м))
Длина наибольшая, м	199,90
Ширина, м	27,00
Высота борта до ВП, м	14,70
Осадка по ЛГВЛ, м	6,00
Максимальная мощность ГД, кВт	2х6000
Скорость хода (около), уз	16,5
Экипаж/мест, чел	24/36
Дальность плавания (около), миль	3000
Автономность судна по запасам топлива и масла, воды, суток	10

На период с 2021 по 2024 гг. ФГУП «Росморпорт», ФГУП «Крыловский государственный научный центр» и АО «Нордик Инжиниринг» запланировано проектирование и строительство двух вспомогательных ледоколов, работающих на двух видах топлива, мощностью 12-14 МВт, одного портового ледокола мощностью 6-8 МВт. Оценочная стоимость ледокола мощностью 12-14 МВт - 6,72 млрд. руб., ледокола мощностью 6- 8 МВт - 5,68 млрд. руб.

Планируемые районы эксплуатации ледоколов мощностью 12-14 МВт: круглогодично Балтийское, Белое и Баренцево моря, моря Тихоокеанского бассейна; в летний и осенний период - моря Северного Ледовитого океана и устья впадающих в него рек. Начало строительства ледоколов запланировано на III квартал 2020 года.

Также на конец 2024 года запланировано завершение строительства ледокола мощностью 18 МВт ледового класса Icebreaker⁷ для обеспечения круглогодичной работы замерзающих морских портов Дальневосточного бассейна.



Рисунок 35: проект ледокола мощностью 18 МВт ледового класса Icebreaker7

Одновременно специалистами ООО «Морское инженерное бюро дизайн СПб» ведутся разработки модернизации судов для работы на СПГ:

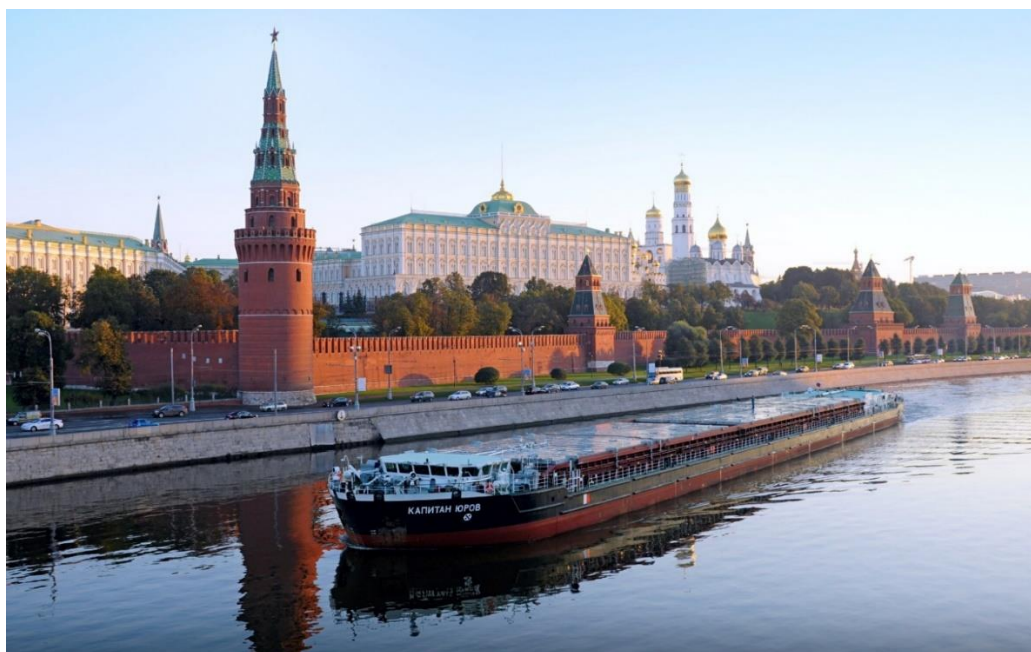


Рисунок 36: ПРОЕКТ RSD44, Многоцелевое сухогрузное судно дедвейтом 5716 тонн типа "Герои Сталинграда" класса "Волго-Дон макс" (построено 10 судов в 2011 – 2012 годы)



Рисунок 37: ПРОЕКТ RSD59 Многоцелевое сухогрузное судно дедвейтом 8144 / 5320 тонн типа "Пола Макария" класса "Волго-Дон макс" (построено 13 судов , в постройке – 27 судов, в опционе – 20 судов)



Рисунок 38: ПРОЕКТ RST27 Танкер - продуктово-химовоз дедвейтом 7030 / 5428 тонн типа «ВФ Танкер» класса «Волго-Дон макс» (построено 47 судов (2012 – 2018 годы))

РАЗДЕЛ VII. ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ.

1. Технические преимущества.

Ключевыми стимулами для перехода на СПГ являются его экологичность, экономичность и безопасность относительно топливных альтернатив. СПГ по показателям взрывопожароопасности является самым безопасным из используемых жидких моторных топлив и сжиженных углеводородных газов, не токсичен, не вызывает коррозии оборудования и не загрязняет окружающую среду.

К преимуществам использования СПГ с технической точки зрения в качестве топлива на водном транспорте относятся следующие факторы:

- Отсутствие необходимости очистки отходящих оксидов серы (SO_x) ввиду полного отсутствия серы в газовом топливе. На судне нет скрубберов и необходимых для их работы химреагентов.

- Существенное снижение содержания оксидов азота (NO_x) в отводящих газах (вдвое для четырехтактных дизелей и на 20-25% для двухтактных). Соответствие отходящих газов требованиям по содержанию NO_x , отсутствие необходимости размещения на судне реакторов избирательной каталитической реакции и необходимых для их работы химреагентов.

- Практически полное отсутствие в отходящих газах твердых частиц, обусловленное особенностями процесса сгорания газового топлива. Отсутствие необходимости размещения на судне сажеуловителей.

- Снижение примерно на 20% выбросов CO_2 .

- Увеличение моторесурса поршневых двигателей, снижение нагарообразования в них.

2. Судовые двигатели, использующие СПГ в качестве топлива.

СПГ применяется для судовых силовых установок трех типов: газовые, газодизельные и электрические с газовым/газодизельным приводом.

Двигатели с искровым зажиганием работают только на природном газе, в то время как двухтопливные газодизельные двигатели могут работать на дизельном топливе, СПГ и мазуте. На сегодняшний день можно выделить три основных производителя на данном рынке: Wartsila, Rolls-Royce и Mitsubishi Heavy Industries.

Лидером является финская машиностроительная компания Wartsila (Вяртсиля). Компания расширяет свое участие в проектах по переводу морских судов на использование сжиженного природного газа.

Так, с середины 2014 года она выполняет заказ японских корабелов, строящих 16 новых танкеров для СПГ вместимостью от 155 до 180 тыс. м³. Этот флот будет оснащен 61 газодизельной силовой установкой Wartsila: двадцать 9-цилиндровых, шестнадцать 8-цилиндровых (Wartsila 50DF) и двадцать пять 6-цилиндровых.

По данным компании, при работе на СПГ двигатель Wartsila 50DF выбрасывает на 85% меньше оксидов азота (NO_x), чем это предусмотрено действующими нормами Международной морской организации (IMO); выбросы двуокиси углерода (CO₂) на 25% меньше, чем у дизельных аналогов; содержание оксидов серы (SO_x) ничтожно и стремится к нулю.



Рисунок 39: судовой газодизельный двигатель Wartsila серии DF.

Рядный 6-цилиндровый газодизельный двигатель Wartsila 20DF26 может работать по двухтопливному циклу или использовать судовой мазут/дизельное топливо. Двигатель может использоваться в качестве привода для электрогенератора или работать на главный винт.

При работе на нефтяном топливе двигатель Wartsila 20DF соответствует второму классу (Tier II) нормам выбросов Международной конвенции по предотвращению загрязнения судов (MARPOL 73/78), в то время, как на СПГ – третьему (Tier III). Таких двигателей компания Wartsila выпустила уже более 100 единиц.

Двухтопливные двигатели серии ME-GI (Рис. 40) на природном газе разработаны компанией MAN. Два таких двигателя под маркой 8S70ME-C8.2-

GI установлены на первых комбинированных контейнеровозах/паромах для компании Crowley Maritime Corporation, USA. Масса двигателя – 759 тонн, высота и длина – по 12,49 м, ширина – 4,48 м. Природный газ впрыскивается в цилиндры под высоким давлением.

Сохранение двухтопливности позволяет выбирать дизельный или газодизельный режим в зависимости от конъюнктуры цен на морское дизельное топливо или сжиженный природный газ.



Рисунок 40: судовой газодизельный двигатель MAN серии ME-GI.

2.1 Принцип работы газодизельного двигателя.

Ужесточение правил Международной морской организации (ИМО) привело к разработке двигателей, использующих два вида топлива - дизельное топливо и СПГ. Такие энергетические установки называют двухтопливными – «Dual Fuel» или «DF Engine».

Агрегаты такого типа имеют возможность работать в двух режимах - дизельном и газодизельном (Рис. 41-42).

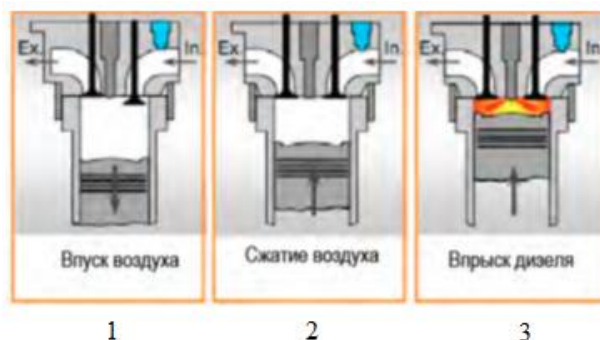


Рисунок 41: дизельный режим работы двигателя.

1 – Заполнение цилиндра воздухом. Впускной клапан открыт; 2 – Сжатие воздуха. Клапаны закрыты; 3 – Впрыск дизельного топлива и воспламенение.

В цилиндр с помощью открытого клапана подается воздух, далее происходит его сжатие поршнем. Затем срабатывает форсунка подачи дизельного топлива. После впрыска дизельного топлива происходит воспламенение в цилиндре (Рис. 41).

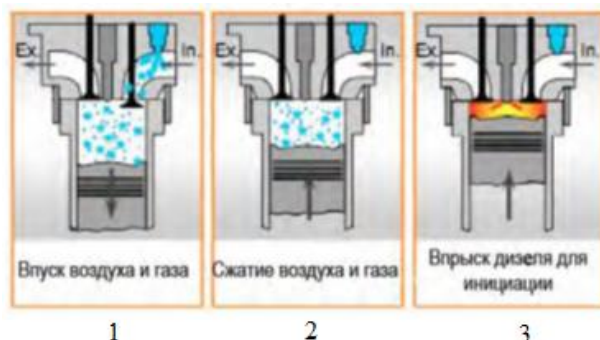


Рисунок 42: Газодизельный режим работы двигателя.

1 – Заполнение цилиндра газозоудушной смесью. Впускной клапан открыт; 2 – Сжатие смеси. Клапаны закрыты. Газ от сжатия не воспламеняется; 3 – Впрыск дизельного топлива и воспламенение (1% дизельного топлива).

В газодизельном режиме работы двигателя (Рис. 42) в цилиндр поступает газозоудушная смесь, далее она сжимается поршнем. Перед подходом поршня в верхнюю мертвую точку (ВМТ) цилиндра происходит впрыск малого количества дизельного топлива (~ 1%), что приводит к воспламенению смеси. Если запуск произошёл успешно и воспламенение стабильно, то двигатель переходит полностью на газовое топливо. Замещение дизельного топлива газом обычно занимает около одной минуты.

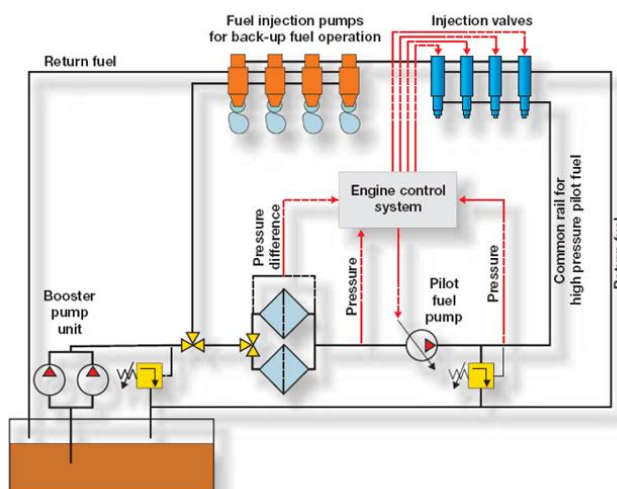


Рисунок 43: Принципиальная схема работы газодизельной системы.

На схеме (Рис. 43) представлена система двойного действия:

- в первом случае это обычная работа дизельного двигателя, без применения газа в цилиндре, со стандартными приводами топливных насосов высокого давления (ТНВД) на распределительном валу. Форсунки используются двухигольные: маленькая игла – для работы в электронном режиме, большая – в «дизельном»;

- во втором случае система используется для работы двигателя с применением газа, в котором дизельное топливо служит только для воспламенения в цилиндре, такая система контролируется электроникой и имеет электронный впрыск дизельного топлива в цилиндр при давлении ~ 900 бар.

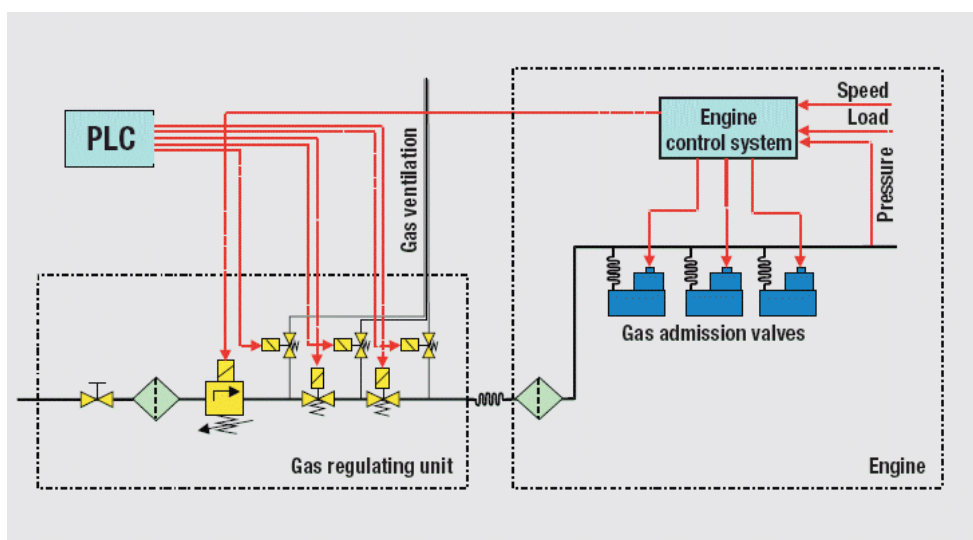


Рисунок 44: Принципиальная схема работы цикла для газа.

На схеме (Рис. 44) видно, что газ через фильтр поступает в регулятор давления, и выходные значения зависят от нагрузки на двигатель и энергетической ценности газа, но максимальное значение ~ 4 бара. Система также укомплектована необходимыми устройствами по обеспечению безопасности, клапанами аварийного перекрытия и вентиляционным клапаном для стравливания газа при избыточном давлении.

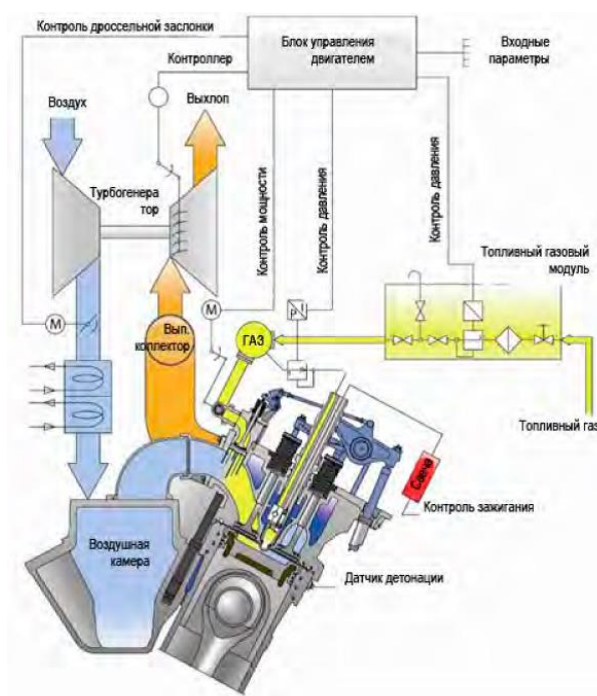


Рисунок 45: Топливная схема газового двигателя.

Важное значение при работе таких двигателей имеет поддержание правильного соотношения воздуха и топлива во всём рабочем диапазоне для предотвращения детонации или ошибки при воспламенении, а также для низкого значения выбросов в атмосферу. Это достигается за счёт использования системы «Waste - gate» - обходная система выхлопных газов вокруг турбин, контролируемая электроникой.

В случае, если газ по какой-либо причине не может быть использован в качестве топлива для двигателя и на судне нет установки обратного сжижения, то предусмотрена система выжигания такого газа. Называется такая установка «Gas Combustion Unit» или «Thermal Oxidiser», и устанавливается в фальштрубе судна (Рис. 46).

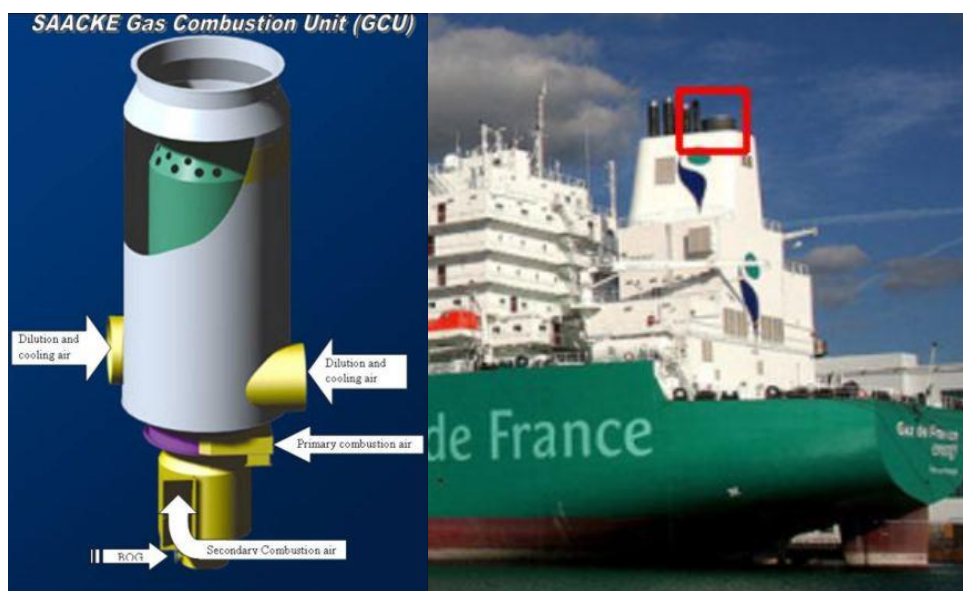


Рисунок 46: Установка выжигания неиспользованного газа «Gas Combustion Unit».

Правила безопасности по эксплуатации таких двигателей аналогичны правилам безопасности при работе с газом. Утечка метана может вызвать разрушительный взрыв, поэтому для предотвращения утечек и взрыва все газопроводы имеют двойные стенки. Также система газопровода оборудована пламегасителями на входе в коллектор подачи газа, системой сброса избыточного давления и детекторами утечки газа. Вытяжная вентиляция над каждым двигателем также оснащена газовым детектором. В случае обнаружения утечки, подача газа в двигатель моментально прекращается, и он автоматически переходит в дизельный режим работы, а газ перенаправляется в установку «Gas Combustion Unit», где и происходит утилизация этого газа.

При нарушении целостности двойных труб газопровода система имеет вход заправки инертного газа – азота, для продувки и освобождения системы от взрывоопасного газа.

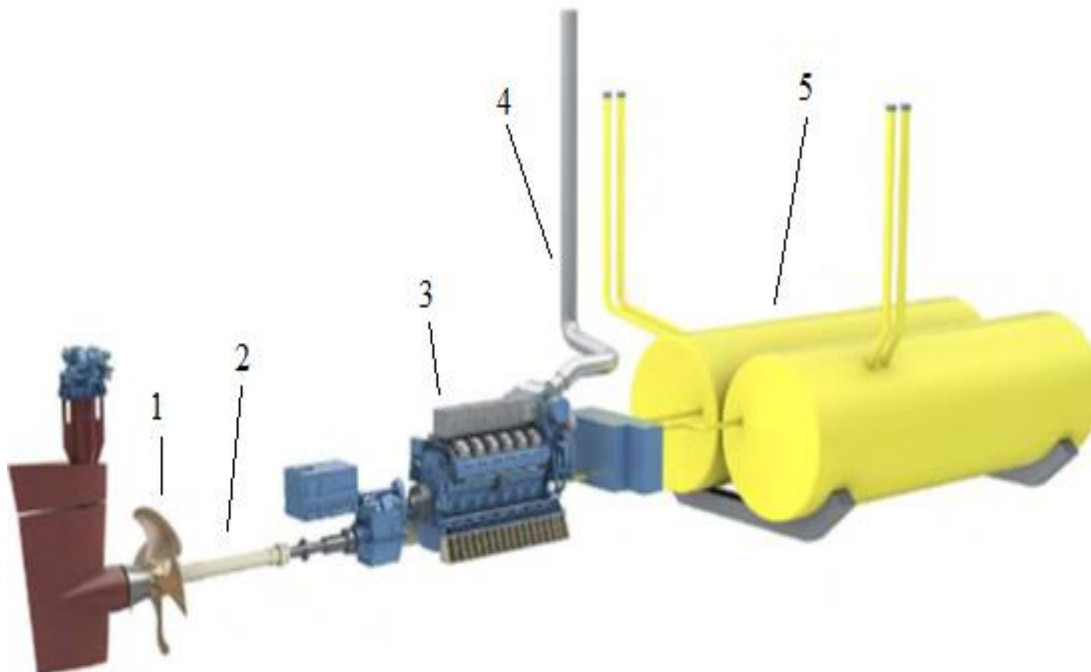


Рисунок 47: Модель газовой силовой установки на судне.

1 – гребной винт; 2 – гребной вал; 3 – силовая установка; 4 – газоотводная труба; 5 – емкости для хранения газа.

Газотопливные суда имеют ряд специализированного оборудования (Рис. 48), предназначенного для приема, хранения, подготовки, регазификации, подачи газа, используемого в качестве судового моторного топлива. Ключевым оборудованием является:

- система приема бункерного СПГ на борт газотопливного судна;
- станции топливоподготовки для энергоагрегатов;
- системы инертизации;
- емкости для хранения СПГ и др.



Рисунок 48: газовое и СПГ-оборудование для газотопливных судов (на примере ледокола «Polaris»).



Рисунок 49: судовые топливные СПГ-баки объемом 230м³ (справа) и 45м³ (слева)

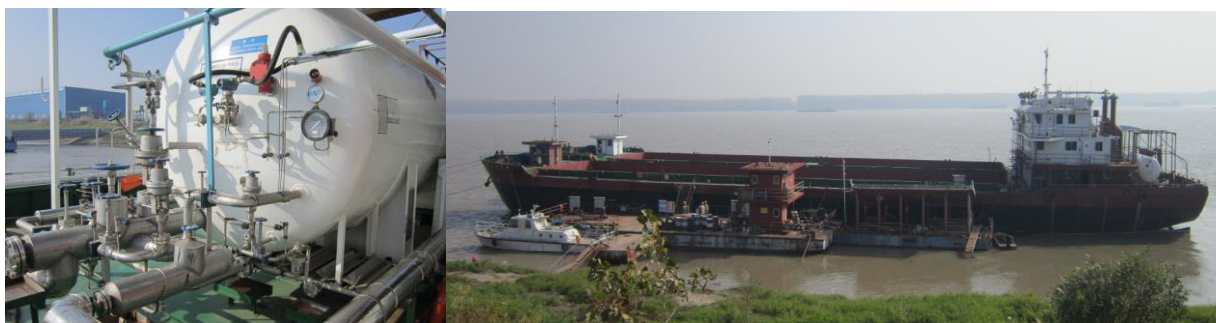


Рисунок 50: первый сухогруз на двойном топливе в Китае, прошедший сертификацию CCS. Топливный СПГ-бак и система газоснабжения предоставлена компанией Furuise.

3. Описание типовых схем бункеровки судов.

Бункеровка судов сжиженным природным газом осуществляется несколькими технологическими схемами (Рис. 51):

- судно – судно (STS – ship to ship);
- автоцистерна – судно (TTS – truck to ship);
- береговое хранилище – судно (TPS – intermediate tank to ship).



Рисунок 51: Схема бункеровки судна.

Продолжительность бункеровки зависит от скорости передачи СПГ к бункеруемому объекту. Мощность насоса или скорость подачи подбираются в зависимости от конкретных потребностей. Другие факторы, влияющие на продолжительность бункеровки: обработка отпарных газов, инерттизация

криогенных трубопроводов и шлангов, пред- и послебункеровочные процедуры.

Бункеровщик СПГ, независимо от типа, предназначения и исполнения, должен обеспечивать выполнение ряда функций, критичных для удовлетворения потребностей газотопливного судоходства. Кроме того, представляется целесообразным обеспечение бункеровщику СПГ некоторой дополнительной функциональности для учёта локальных особенностей спроса.

Бункеровщик должен выполнять следующие функции:

- принимать товарный СПГ со специализированных причалов, судов-газовозов СПГ и с КριοПАГЗ (внешними средствами грузообработки);
- выдавать бункерный СПГ на газотранспортную систему (ГТС) и в КριοПАГЗ (своими средствами грузообработки);
- принимать сдаваемый СПГ с ГТС и из иных источников;
- принимать отпарной газ для утилизации и повторного использования;
- проводить эксплуатационное захолаживание обслуживаемых криогенных емкостей;
- проводить первичное захолаживание обслуживаемых криогенных емкостей;
- проводить инертизацию систем хранения СПГ азотом;
- принимать с берега и/или вырабатывать азот для инертизации;
- хранить запас сжатого азота на борту;
- выдавать сжатый азот на ГТС или в иные внешние емкости;
- должна обеспечиваться возможность его использования в качестве фидерного газовоза СПГ (с учетом возможностей системы удержания СПГ, имеющейся на борту).
- должна обеспечиваться возможность точного определения количества, температуры, давления и химического состава, выдаваемого бункеровщиком бункерного СПГ в течение всей бункеровки.
- может быть востребована высоконапорная регазификация СПГ на борту для выдачи на ГТС не только СПГ, но и КППГ.
- может быть востребована выдача на обслуживаемое судно не только СПГ/КППГ, но и жидкого нефтяного топлива (в качестве запального и резервного) – нужно определиться.

– может быть востребован приём метаносодержащих газовых смесей для утилизации.

Учитывая специфические аспекты и требования в обращении с СПГ, бункеровка судов может проводиться исключительно квалифицированными компаниями, у которых есть специализированное оборудование и лицензия на такой вид деятельности.

Возможные варианты бункеровки судов приведены в Таблице 1 с соответствующими схемами ниже (Рис. 52-54, 59, 61).

Таблица 1. Варианты бункеровки

		Бункеровщик				
		Резервуар под давлением			Атмосферный резервуар	
		Судно	КриоПАГЗ	Береговое хранилище	Судно	Береговое хранилище
Приемное судно	Резервуар под давлением	Рис. 52	Рис. 59	(*)	(*)	Рис. 61
	Атмосферный резервуар	Рис. 53	(*)	(*)	Рис. 54	(*)

(*) Такой вариант возможен, но не показан.

3.1 Бункеровка «судно - судно».

Бункерные суда являются основным видом заправщиков, в случае большого объема СПГ, который должен быть передан. Текущие мощности действующих и строящихся судов-бункеровщиков СПГ находятся в диапазоне от нескольких сотен до нескольких тысяч кубометров.

Бункерное судно загружается либо в специально построенном маломасштабном терминале (стандартный терминал СПГ, адаптированный для небольших перевозчиков СПГ), либо с другого судна (более крупного перевозчика СПГ).

Существуют различные виды бункеровочных судов:

- специализированный - бункерует исключительно газотопливные суда, передает на бункеруемые суда исключительно СПГ;
- комбинированный - бункерует как газотопливные, так и «обычные» суда;
- комплексного снабжения топливами (КСТ) - бункерует исключительно газотопливные суда, передает на бункеруемые суда как СПГ, так и обессеренное дизельное топливо (используемое на газотопливных судах в качестве запального и резервного);
- минимизировано-комбинированный - бункерует как газотопливные, так и «обычные» суда, СПГ на борту хранится в резервуарах, принимаемых на борт вместе с СПГ, ЖНТ (жидкое нефтяное топливо) – в постоянных танках;
- предельно минимизированный - бункерует исключительно газотопливные суда, передает на бункеруемые суда СПГ и другие виды топлива, СПГ на борту хранится в резервуарах, принимаемых на борт вместе с СПГ, ЖНТ – аналогично.

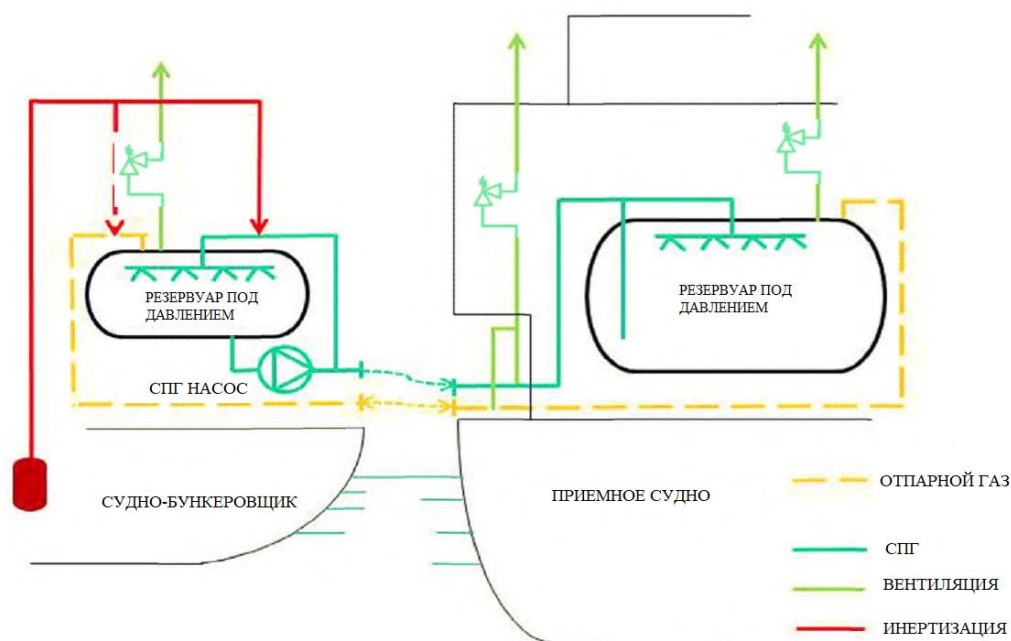


Рисунок 52: бункеровка «судно - судно» - бункеровочное и заправляемое судно с резервуарами под давлением.

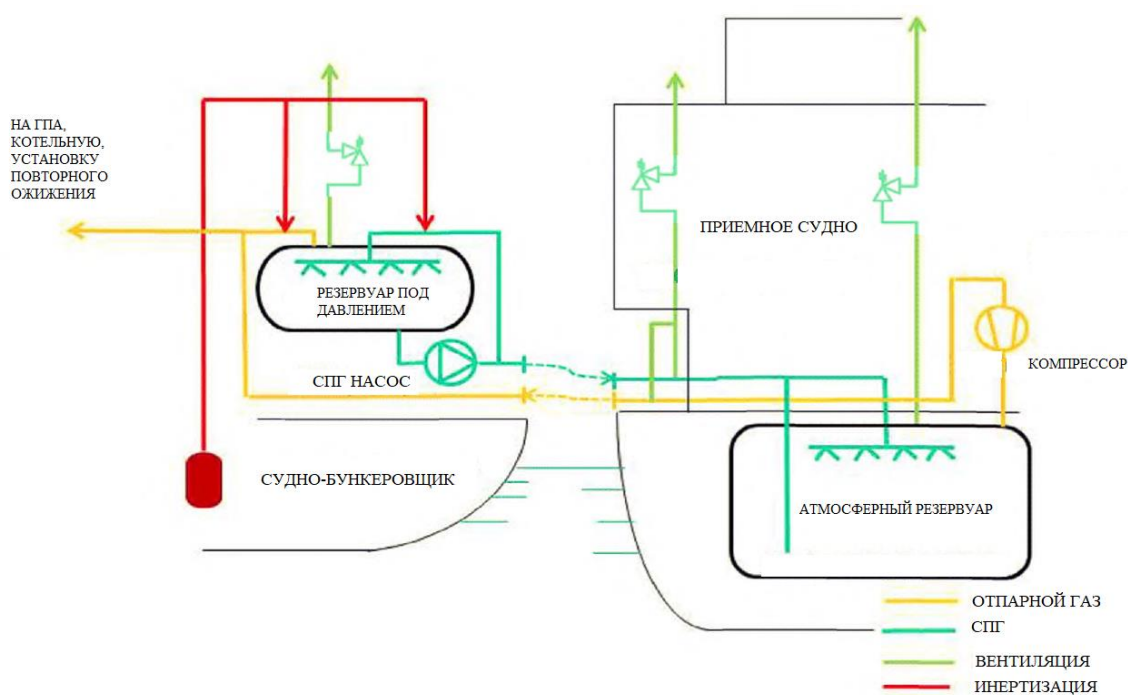


Рисунок 53: бункеровка «судно - судно» - бункеровочное судно с резервуаром под давлением и заправляемое судно с атмосферным резервуаром.

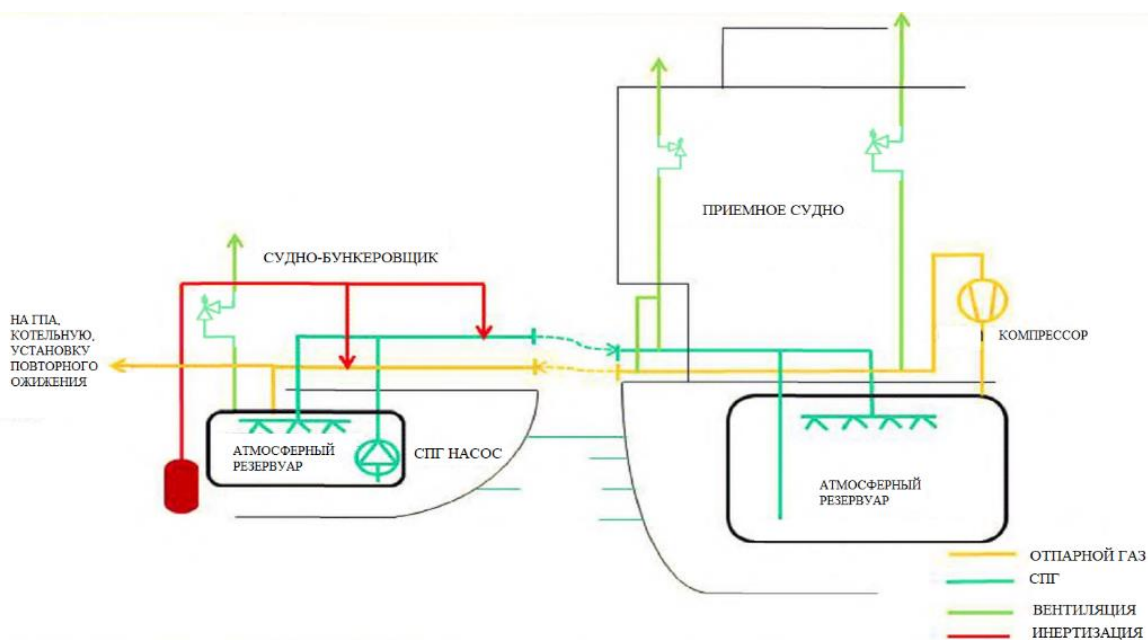


Рисунок 54: бункеровка «судно - судно» - бункеровочное и заправляемое судно с атмосферными резервуарами.

Один из примеров бункеровщика СПГ «судно – судно» - «ENGIE Zebrugge». Это судно вместимостью 5000 м³, построенное на верфи HANJIN в Пусане (Корея), был передан заказчику 15.02.2017 г. Судно работает в порту Зебрюгге и получает СПГ для бункеровки на находящемся там импортном терминале СПГ.



Рисунок 55: бункеровщик «ENGIE Zebrugge»

В настоящее время суда-бункеровщики СПГ строятся под конкретные единичные проекты в связи с отсутствием сформированного рынка бункеровки СПГ. На данный момент в Европейском регионе существует 5 действующих судов-бункеровщиков СПГ грузовместимостью от 187 м³ до 7500 м³.

В 2019-2020 гг. в эксплуатацию планируется ввести еще 5 судов-газовозов для работы в европейском регионе грузовместимостью до 20 тыс. м³ для целей проведения как бункеровки, так и транспортировки СПГ. Все суда будут работать на два направления: осуществлять деятельность по перевозкам СПГ на близлежащие региональные приёмные терминалы СПГ и проводить операции по бункеровкам судов СПГ.

Кроме того, в середине октября 2018 года было сдано крупнейшее судно-бункеровщик СПГ Kairos Babcock Schulte Energy (BSE). Танкер вместимостью 7,5 тыс. м³ построен на южнокорейской верфи Hyundai Mipo (HMD) в Ульсане.

Финская компания Wartsila также создала самоходное судно-бункеровщик вместимостью 6,5 тыс. м³ - модель WSD59 6.5K. Он способен доставлять СПГ на бункеруемое судно от берегового терминала. Эта операция может проводиться одновременно с разгрузкой танкера СПГ.

В октябре 2018 года судостроительная группа DAMEN Shipyards приступила к строительству танкеров-бункеровщиков СПГ. В фокусе внимания – Балтийское море. Так, в начале октября 2018 года DAMEN подписал контракт с ведущей энергетической компанией Эстонии Eesti Gaas

на строительство бункеровочного судна СПГ в Балтийском море. Бункеровщик проекта LGC 6000 LNG вместимостью 6 тыс. м³ СПГ и длиной 100 м, будет построен на судостроительном заводе DAMEN Yichang в Китае. Судно планируется передать заказчику Eesti Gaas в управление в сентябре 2020 года по долгосрочному тайм-чартерному контракту с материнской компанией Infortar AS, которая выступает владельцем судна. Техническое руководство для судна будет предоставлено ведущей судоходной компанией региона Tallink Grupp.

Российские компании также планируют строить суда-бункеровщики СПГ: ООО «Газпромнефть Марин Бункер» собирается ввести в эксплуатацию танкер-бункеровщик СПГ в 2021 году. Объем емкостей СПГ у танкера составит 3 тыс. м³, осадка 4,5 м, ледовый класс 1В. Судно будет работать в Северо-Западном регионе России.

По мнению экспертов спрос на СПГ-бункеровщики в мире к 2030 году увеличится более чем в 10 раз.



Рисунок 56: концепция бункеровочной баржи

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 Seagas в Стокгольме это ограничение не играет особого значения, поскольку такой потребитель как паром Viking Grace ежедневно забирает 60 т СПГ.

3.2 Бункеровка «автоцистерна - судно».

Бункеровка СПГ осуществляется с помощью криогенных передвижных автогазозаправщиков (КриоПАГЗ). Для бункеровки одного судна может

потребуется более одного КриоПАГЗ, в зависимости от требуемого объема СПГ.



Рисунок 57: бункеровка СПГ с помощью КриоПАГЗ.

Продолжительность операции бункеровки СПГ зависит от пропускной способности КриоПАГЗ, которая относительно невелика. В зависимости от расположения береговой линии можно в некоторой степени увеличить скорость бункеровки путем одновременной бункеровки от нескольких КриоПАГЗ через общий коллектор (Рис.58) или с использованием постоянно установленной буферной станции на стороне причала.



Рисунок 58: одновременная бункеровка несколькими КриоПАГЗ через общий коллектор

Этот метод бункеровки признан гибким, поскольку он предоставляет возможность для многих судов быть бункерованными в разных местах порта. В зависимости от расположения порта существует возможность припарковать КристоПАГЗ близко к бункерной станции на приемном судне, позволяя использовать короткие шланги, это потенциально уменьшает нагрев СПГ, минимизирует падение давления, а также уменьшает размер потенциального разлива, в случае повреждения шланга.

Этот метод признается наиболее подходящим в тех случаях, когда объем передаваемого СПГ составляет менее 200 м³, и когда коммерческая эксплуатация судна позволяет обеспечить достаточную продолжительность бункеровки.

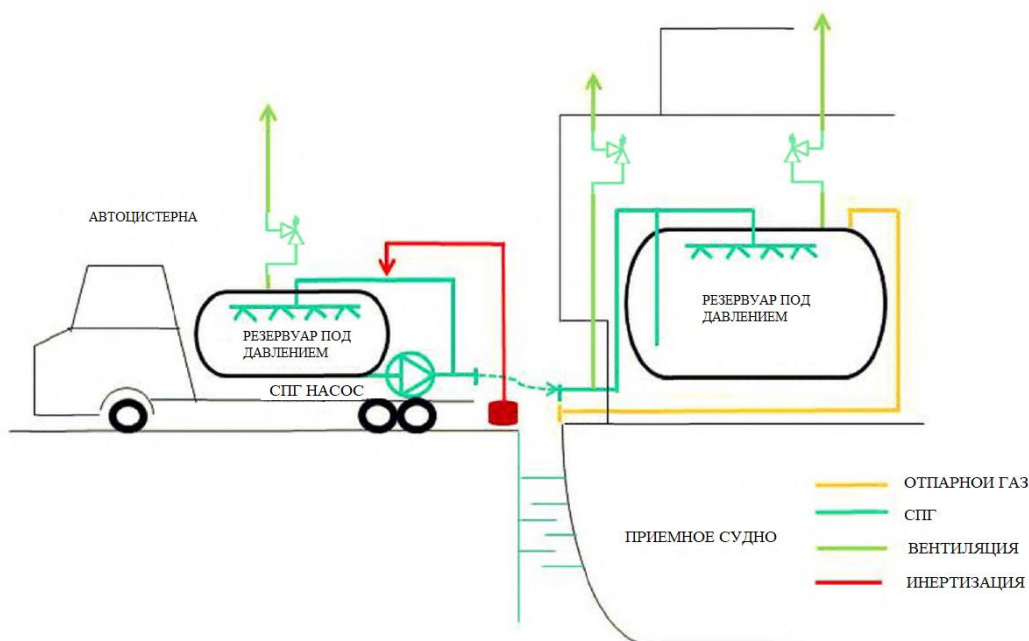


Рисунок 59: бункеровка «автоцистерна - судно» - заправляемое судно с резервуаром под давлением

3.3 Бункеровка «береговое хранилище – судно».

Бункеровка СПГ осуществляется через жесткую криогенную трубу и гибкий шланг (загрузочный рычаг) для соединения с судном (Рис. 60). Резервуары для хранения СПГ, как правило, должны находиться как можно ближе к бункеровочному терминалу.

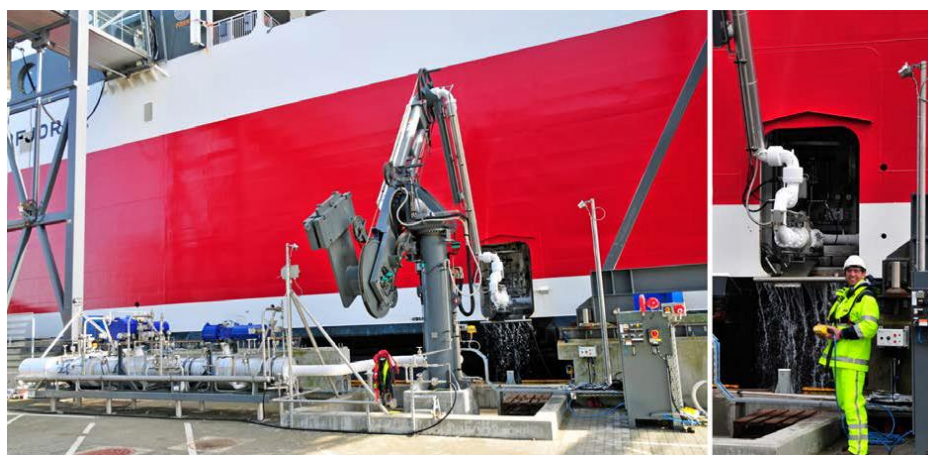


Рисунок 60: бункеровка СПГ с помощью загрузочного рычага

Предусматривается, что этот тип объекта должен быть оснащен таким образом, чтоб на берегу находился персонал, способный вручную активировать систему аварийной остановки и прекратить бункеровку в случае возникновения чрезвычайной ситуации.

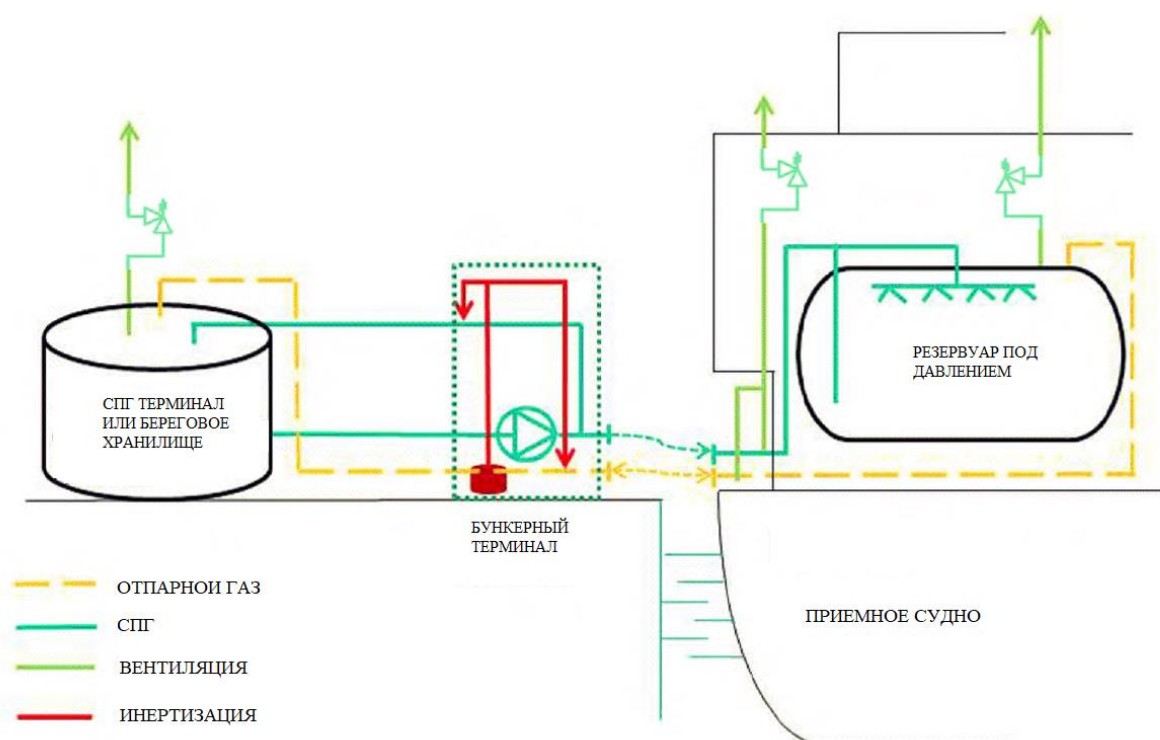


Рисунок 61: бункеровка «береговое хранилище - судно» - заправляемое судно с резервуаром под давлением.



Рисунок 62: береговая база бункеровки автопассажирских паромов компании «Fjord 1» (Норвегия). 1-2) бункеровочный терминал; 3) криогенный шланг с фланцем, 4) счетчик СПГ; 5) пост управления бункеровкой; 6) пост учета выдачи СПГ; 7) хранилище СПГ (2 танка по 250 м³).

3.4 Контейнерные цистерны СПГ, используемые в качестве топливных баков.

Этот метод бункеровки может также упоминаться как «использование переносных цистерн».

Вместо бункеровки СПГ в приемные судовые баки на борт судна поднимаются предварительно загруженные контейнеры в виде полного топливного пакета. Каждый контейнер соединен с тремя различными трубопроводными системами: трубопроводом для транспорта СПГ к двигателям, трубопроводом к вентиляционной мачте для клапанов сброса давления каждого контейнера и системой инертного газа.

Прицепные цистерны, используемые на борту некоторых паромов, припаркованы в специализированном месте, обычно в пределах действия международного морского кодекса по опасным грузам (ММОГ), где они закреплены на палубе и соединены через соответствующие шланги для заправки СПГ в навигации. Конкретные прицепы СПГ (и их соединительное оборудование), используемые в качестве переносных топливных баков на борту должны быть утверждены в соответствии с Кодексом для судов, работающих на СПГ, в дополнение к утверждению в соответствии с национальными, региональными или международными стандартами, например, ADR, Transport Canada или US DOT.

4. Техническая осуществимость перевода судов на СПГ.

Первый в мире опыт перевода танкера с дизельного топлива на СПГ был получен в 2011 г. Танкер Bit Viking компании Tarbit Shipping дедвейтом 25000 тонн был переоборудован для использования СПГ. После переоборудования существенно снизились выбросы загрязняющих веществ. Выбросы углекислого газа снизились на 25%, твердых частиц и оксидов серы – до 0, существенно снизились выбросы кислых оксидов. Переоборудование танкера осуществлялось за счет софинансирования со стороны норвежского фонда «NOX».

Процесс переоборудования касался изменений двигательной установки с Wartsila 46 на двухтопливный двигатель Wartsila 50DF. При переоборудовании использовалась система Wartsila LNGPac™, которая включает в себя емкость под давлением для СПГ. Бункеровка осуществляется с бункеровочной станции по теплоизолированной трубе.

Безусловно, нельзя перевести весь устаревший флот на СПГ. Тем не менее, в отдельных случаях перевод на СПГ может быть осуществлен по ранее реализованным схемам.

Например, все суда флота «Норильского никеля» используют двигатели Wartsila 12V32, которые предназначены для работы на мазуте и дизельном топливе. Для обеспечения возможности использования СПГ могут потребоваться работы по переводу двигателей с дизельного в двутопливный режим.

Анализ опыта переоборудования двигателей Wartsila с дизельных на двутопливные двигатели показал, что подобные работы проводились для двигателей, установленных на электростанциях в Португалии и Пакистане. Всего было переоборудовано 5 двигателей 12V32 в 12V32DF.

Судя по тому, что в российском морском регистре судоходства (РМРС) указана возможность работы двигателей судов «Норильского никеля» на дизельном топливе и мазуте, и принимая во внимание практическую реализацию переоборудования двигателей типа 12V32 с мазута на битопливный режим, то с учетом применения комплектов «LNG Рас» имеется техническая возможность использования СПГ на судах «Норильского никеля» и танкеров, перевозящих нефть.

VIII. СТАНДАРТЫ

Развитие газотопливного судоходства, несмотря на многочисленные очевидные преимущества, сдерживается рядом проблем, в том числе, недостаточным развитием нормативной базы. При этом, необходимо отметить, что эта проблема характерна как для России, так и для всего мира.

Нормативная база должна регламентировать, как минимум:

- Этапы жизненного цикла газотопливных судов;
- Этапы жизненного цикла СПГ-терминалов и иных объектов инфраструктуры газотопливного судоходства;
- Транспортировку СПГ (доставка до объекта / места бункеровки);
- Процесс СПГ-бункеровки газотопливного судна и проведения смежных операций;
- Требования к бункерному СПГ, расходным материалам, комплектующим изделиям;
- Технологические решения, интерфейсы, протоколы информационного обмена;
- Организационно-технические решения, менеджмент качества, управление безопасностью, стандартные процедуры, методическое обеспечение для разработки типовых инструкций и документов;
- Организационно-методическое обеспечение подготовки и дипломирования специалистов, допускаемых к непосредственному участию в этапах жизненного цикла газотопливных судов и обеспечивающей инфраструктуры, в том числе, к несению вахт.

Основной организацией, принимающей нормы (стандарты) по обеспечению безопасности на море и предотвращению загрязнения с судов окружающей среды, является ИМО.

Среди обязательных для исполнения и рекомендательных международных конвенций, кодексов, резолюций, протоколов, циркуляров и рекомендаций ИМО можно выделить следующие:

- Международная конвенция по предотвращению загрязнения моря с судов (МАРПОЛ 73/78)/ International Convention for the Prevention of Pollution from Ships (MARPOL 73/78);
- Международная конвенция по охране человеческой жизни на море (СОЛАС 74)/ International Convention for the Safety of Life at Sea (SOLAS 74);
- Международный кодекс безопасности судов использующих газы и другое топливо с низкой температурой воспламенения (Кодекс МГТ) /

International Code of Safety for Ships Using Gases or Other Low-Flashpoint Fuels (IGF Code);

- Международный кодекс постройки и оборудования судов, перевозящих сжиженные газы наливом (Кодекс МКГ) (последние изменения введены в действие с 1 января 2016 г.)/ The International Code of the Construction and Equipment of Ships Carrying Liquefied Gases in Bulk (IGC Code);

- Международная конвенция о подготовке и дипломировании моряков и несению вахты (Конвенция ПДНВ)/The International Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers (STCW).

В пределах ЕС обязательными для исполнения являются следующие документы:

- Правила функционирования портов ЕС/ EU Ports Regulation (EU) 2017/352;

- Директива по сокращению вредных выбросов оксидов серы на территории ЕС / EU Sulphur Directive 2016/802/EU;

- Директива создания инфраструктуры альтернативных топлива на территории ЕС/EU Alternative Fuel Infrastructure Directive 2014/94/EU;

- Директива о гармонизации законодательства государств-членов, касающегося оборудования и защитных систем, предназначенных для использования во взрывоопасных средах на территории ЕС/Directive 2014/34/EU on the harmonization of the laws of the Member States relating to equipment and protective systems intended for use in potentially explosive atmospheres;

- Директива по оценке экологического влияния/ Environmental Impact Assessment Directive 2011/92/EU.

Главным советником ИМО по техническим вопросам является Международная ассоциация классификационных обществ (МАКО) (International Association of Classification Societies, IACS) – международное объединение классификационных обществ с целью выработки единых (сопоставимых) стандартов и правил в отношении обеспечения безопасности морских перевозок.

Деятельность МАКО направлена на унификацию классовых правил классификации, обмера, постройки, эксплуатации и ремонта морских судов, используемых в судостроении материалов, снабжения морских судов техническими средствами и т.п.

Правила и руководства МАКО и входящих в него классификационных обществ, обязательные при присвоении судну класса:

- Руководство к энергетическим установкам для судов на газомоторном топливе / Guide for propulsion and auxiliary systems for gas-fueled ships (2011, ред. 2014);
- Руководство для судов, переходящих на СПГ / Guide for LNG fuel ready vessels (2014, ред. 2017);
- Исследование СПГ бункеровки для Северной Америки / ABS 2nd Edition NA LNG Bunkering Study for NA;
- СПГ бункеровка: техническое и операционное сопровождение / LNG Bunkering: Technical and Operational Advisory;
- Руководство по СПГ бункеровке / NI 618 Guidelines on LNG bunkering (2014);
- СПГ-бункеровщик / NR 620 LNG Bunkering Ship (2015);
- Суда на газомоторном топливе / NR 529 Gas Fuelled Ships (2017);
- Руководство по переходу на СПГ топливо / NI654 Guidelines on conversion to LNG as fuel (2019);
- Правила для судов на СПГ / Rules for natural gas fueled ships (2013, ред. 2017);
- Правила для СПГ-бункеровщиков / Rules for Liquefied Natural Gas Bunkering Vessel (2015);
- Руководство для судов на природном газе / Guidelines for Natural Gas;
- Классификационные правила / DNV rules for classification of ships concerning LNG (188 документов);
- Стандарты / DNV Standards (110 документов).

Среди стандартов ИСО / МЭК в области бункеровки СПГ можно выделить следующие:

- ISO/TS 16901:2015 Руководство по оценке риска при проектировании береговых установок для производства сжиженного природного газа, включая порядок взаимодействия берег-судно / ISO/DTS 16901:2015 - Guidance on performing risk assessment in the design of onshore LNG installations including the Ship/Shore interface
- EN ISO 16903:2015 Характеристики СПГ, влияющие на конструкцию и выбор материалов - EN ISO 16903 :2015 Characteristics of LNG, influencing the design, and material selection
- EN ISO 16904:2016 Проектирование и испытания морских линий передачи СПГ для обычных наземных терминалов /EN ISO 16904:2016 Design and testing of LNG marine transfer arms for conventional onshore terminals

- ISO/TS 18683:2015 Руководство по системам и установкам для поставок СПГ в качестве топлива на суда/ ISO/TS 18683:2015 - Guidelines for systems and installations for supply of LNG as fuel to ships
- EN ISO 20088-1:2016 - Определение устойчивости к криогенным разливам изоляционных материалов-Часть 1: жидкая фаза /EN ISO 20088-1:2016 - Determination of the resistance to cryogenic spillage of insulation materials — Part 1: Liquid phase
- EN ISO 20519:2017 - Суда и морская технология. Требования к бункеровке судов для перевозки сжиженного природного газа/ EN ISO 20519 - Specification for bunkering of liquefied natural gas fueled vessels
- ISO/TS 17177:2015 Руководящие принципы для морских интерфейсов гибридных терминалов СПГ ISO/TS 17177:2015 - Guidelines for the marine interfaces of hybrid LNG terminals
- ISO 28460:2010 Нефтяная и газовая промышленность. Установки и оборудование для сжиженного природного газа. Взаимодействия судно-берег и операции в порту / ISO 28460:2010 Standard for installation and equipment for LNG – Ship to shore interface and port operations
- ISO 10976:2015 Жидкости охлаждающие на основе легких углеводородов. Измерение грузов на борту судов для перевозки сжиженных природных газов/ ISO 10976:2015 Refrigerated light hydrocarbon fluids - Measurement of cargoes on board LNG carriers
- ISO 15970:2008 - Природный газ -- измерение свойств -- объемные свойства: плотность, давление, температура и фактор сжатия ISO 15970:2008 - Natural gas -- Measurement of properties -- Volumetric properties: density, pressure, temperature and compression factor
- ISO 18132-1:2011 Сжиженные газообразные топлива на основе охлажденных углеводородов и не нефтяных продуктов. Общие требования к автоматическим резервуарным датчикам уровня. Часть 1. Автоматические резервуарные датчики уровня для сжиженного природного газа на борту судов и плавучих хранилищ - ISO 18132-1:2011 Refrigerated hydrocarbon and non-petroleum based liquefied gaseous fuels -- General requirements for automatic tank gauges -- Part 1: Automatic tank gauges for liquefied natural gas on board marine carriers and floating storage
- IEC 60079-10-1:2015 Взрывоопасные среды - часть 10-1: классификация зон - взрывоопасные газовые атмосферы / IEC 60079-10-1:2015 - Explosive atmospheres - Part 10-1: Classification of areas - Explosive gas atmospheres
- ISO 20519:2017: «Суда и морские технологии. Требования к бункеровке судов, использующих сжиженный природный газ в качестве топлива» / ISO

20519:2017: Ships and marine technology - Specification for bunkering of liquefied natural gas fuelled vessels

Определенную роль в разработке нормативных документов для СПГ-флота и СПГ-бункеровки играют международные неправительственные организации – объединения юридических и физических лиц по различным формальным признакам, чаще всего – по видам деятельности или по принципу географической общности. Организационно такие организации обычно являются саморегулирующимися организации (СРО). Многие международные неправительственные морские организации выпускают собственные документы, регламентирующие те или иные вопросы, связанные с деятельностью этих организаций: рекомендации, правила и тому подобное. Такие документы, не имея формального статуса, порой де-факто становятся стандартами в соответствующих областях деятельности.

Наиболее значимые международные неправительственные морские организации, имеющие отношение к газотопливному судоходству и СПГ-бункеровке:

- Международная ассоциация портов и гаваней/ IAPH;
- Общество использования газа в качестве топлива для морских судов /SGMF;
- Европейское морское агентство по безопасности/ European Maritime Safety Agency (EMSA);
- Общество международных операторов газовозов и терминалов/Society of International Gas Tanker and Terminal Operators (SIGTTO).
- Самые значимые из выпущенных этими организациями тематические документы:
 - Руководство по безопасности/Safety Guidelines, 2017;
 - Контрольные перечни по СПГ-бункеровке МАПГ/IAPH LNG Bunkering Check-Lists;
 - Руководство по бункеровке СПГ для портовых властей и администраций, 2018 г./Guidance on LNG Bunkering to Port Authorities and Administrations, 2018;
 - Принципы обращения с сжиженным газом на судах и в терминале, 2016 г./Liquefied Gas Handling Principles on Ships and in Terminals, 2016;
 - Выбор и проектирование площадок для портов и причалов СПГ, 1997/Site selection and Design for LNG Ports and Jetties, 1997;
 - Руководство по перегрузке СПГ по технологии «судно-судно», 2011 г. /LNG ship to ship transfer guideline, 2011.

Российские документы по стандартизации по тематике газотопливного судоходства и СПГ-бункеровки

В настоящее время в России действуют, как минимум, следующие документы по стандартизации, которые в той или иной мере могут быть использованы по тематике газотопливного судоходства и СПГ-бункеровки:

- ГОСТ 34294-2017 «Арматура трубопроводная криогенная. Общие технические условия»;
- ГОСТ 21957-76 «Техника криогенная. Термины и определения»;
- ГОСТ Р ИСО 28460-2018 «Сооружения и оборудование для сжиженного природного газа. Порядок взаимодействия судно-берег и портовые операции»;
- ГОСТ 26-04-2153-77 «Оборудование криогенное. Общие требования безопасности к конструкции»;
- ГОСТ Р 55892 2013 «Объекты малотоннажного производства и потребления сжиженного природного газа. Общие технические требования»;
- ГОСТ Р 55506-2013 «Транспорт водный внутренний. Термины и определения»;
- ГОСТ Р 56400 – 2015 «Проектирование и эксплуатация терминалов сжиженного природного газа».

Кроме того, в настоящее время находятся в стадии разработки, как минимум, следующие проекты стандартов:

- ГОСТ Р «Нефтяная и газовая промышленность. Грузовые операции и бункеровка сжиженным природным газом. Термины и определения»;
- ГОСТ Р «Нефтяная и газовая промышленность. Грузовые операции и бункеровка сжиженным природным газом. Общие требования»;
- ГОСТ Р «Нефтяная и газовая промышленность. Грузовые операции и бункеровка сжиженным природным газом. Оборудование причалов»;
- ГОСТ Р / ГОСТ Р ИСО «Суда и морские технологии. Требования к бункеровке судов, использующих сжиженный природный газ в качестве топлива».

В настоящее время разрабатывается госпрограмма, предусматривающая разработку значительного числа (121) документов по стандартизации, регламентирующих различные аспекты производства, хранения, транспортировки, регазификации и потребления СПГ: **«Программа по стандартизации развития технологий и техники в области нефтепереработки, нефтехимии, переработки и сжижения природного газа (в том числе для проектов на платформах (основаниях))»**

гравитационного типа с технологическими линиями производства СПГ, а также осуществляющих транспортировку СПГ судов-газовозов)».

В этой Программе, в том числе, предусмотрена разработка следующих ГОСТ по тематике газотопливного судоходства и СПГ-бункеровки:

- Суда и морские комплексы, предназначенные для производства, хранения, отгрузки, транспортировки, регазификации сжиженного природного газа или использующие его в качестве топлива. Термины и определения
- Суда и морские комплексы, предназначенные для производства, хранения, отгрузки, транспортировки, регазификации сжиженного природного газа или использующие его в качестве топлива. Классификация
- Суда и морские комплексы, предназначенные для производства, хранения, отгрузки, транспортировки, регазификации сжиженного природного газа или использующие его в качестве топлива. Сертификация, освидетельствование и технический надзор. Основные положения
- Суда и морские комплексы, предназначенные для производства, хранения, отгрузки, транспортировки, регазификации сжиженного природного газа или использующие его в качестве топлива. Устройства и системы, обеспечивающие контроль, отображение и документирование параметров передаваемых сжиженных охлажденных газов и режимов их отгрузки в системе судно-судно. Общие технические требования
- Суда и морские комплексы, предназначенные для производства, хранения, отгрузки, транспортировки, регазификации сжиженного природного газа или использующие его в качестве топлива. Общие требования безопасности
- Суда и морские комплексы, предназначенные для производства, хранения, отгрузки, транспортировки, регазификации сжиженного природного газа или использующие его в качестве топлива. Требования безопасности при проведении бункеровочных операций и операций малотоннажной перегрузки сжиженного природного газа.
- Суда и морские технологии. Система передачи бункерного сжиженного природного газа. Оборудование сухого разъединения. Технические требования

- Суда и морские технологии. Системы газового топлива газотопливных судов. Насос высокого давления. Процедура эксплуатационных испытаний
- Суда и морские технологии. Системы газового топлива газотопливных судов. Процедура эксплуатационных испытаний
- Суда и морские технологии. Системы и трубопроводы. Цвета идентификационные
- Суда и морские технологии Клапаны давления / вакуума для грузовых танков.

В целом, в мире и в России предпринимаются значительные усилия для разработки необходимых стандартов, в том числе, обеспечивается государственная поддержка, в разработке принимают участие также неправительственные организации. Однако, имеющаяся нормативная база и база стандартом в мире, несмотря на значительную проделанную работу, недостаточна для практического применения и требует актуализации. В этому связи важным является инициативная разработка текстов стандартов, участие в обсуждении и доработке разрабатываемых стандартов.

IX. ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ МАТЕРИАЛЫ:

1. Материалы III конференции «СПГ-флот и СПГ-бункеровка в России»;
2. Материалы базы данных IHS Markit;
3. «Использование сжиженного природного газа на водном транспорте», Е.Н. Пронин, Санкт-Петербург, май 2016 год;
4. IACS (International Association of Classification Societies) Rec. 142 - LNG Bunkering Guidelines;
5. MARPOL-73/78 (Marine Pollution) Международная конвенция по предотвращению загрязнения с судов 1973 г., измененная протоколом 1978 г.;
6. ADR (Agreement on Dangerous Goods) Европейское соглашение о перевозке опасных грузов;
7. IMDG Code (International Maritime Dangerous Goods Code) международный морской кодекс по опасным грузам.