



## ПРЕДПОСЫЛКИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИРОДНОГО ГАЗА В КАЧЕСТВЕ ТОПЛИВА ДЛЯ МОРСКИХ И СУХОПУТНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Е.М. Ореховский, аспирант,

e-mail: evgenij.orekhovskij@klgtu.ru

ФГБОУ ВО «Калининградский государственный  
технический университет»

На сегодняшний день одним из перспективных направлений в транспортной энергетике является использование сжиженного природного газа в качестве топлива. Применение относительно экологичного природного газа вместо жидкого нефтяного топлива позволит существенно повысить экологичность как наземного, так и водного транспорта, в том числе и флота рыбной промышленности. Постоянное ужесточение норм по вредным выбросам выхлопных газов двигателей стимулирует разработки новых энергетических установок, в частности и установок, работающих на сжиженном природном газе. В статье рассматривается ситуация, связанная с использованием природного газа в качестве топлива для морских и сухопутных видов транспорта, сложившаяся на сегодняшний день.

*Ключевые слова: сжиженный природный газ (СПГ), транспорт, экология*

### ВВЕДЕНИЕ

Изначально классические поршневые двигатели внутреннего сгорания (ДВС), которые приводят сегодня в движение большинство транспортных средств в мире, работают на жидком углеводородном топливе, получаемом путем переработки нефти. Спустя больше чем сто лет, ДВС по-прежнему продолжают работать на жидком топливе. Но в настоящее время происходят изменения. Во-первых, цена на топливо, получаемое из нефти, растет с каждым годом, и издержки на него для транспортных средств, морских, сухопутных и пр., составляют уже более половины всех расходов за рейс. Во-вторых, регулярно ужесточаются правила, регулирующие содержание вредных примесей в выхлопных газах от двигателей, что, в свою очередь, ведет к усложнению и удорожанию двигателей и их систем. Также возрастают требования к применяемому топливу, например, с 1 января 2020 г. вступили новые правила MARPOL (Международная конвенция по предотвращению загрязнения с судов) по нормам содержания серы в судовом топливе. Теперь ее содержание в топливе, используемом вне зон повышенного контроля, не может быть более 0,5 %, вместо 3,5 %, как это было ранее, что в результате привело к повышению цен на топливо. Также из-за ужесточенных норм по содержанию вредных выбросов в атмосферу на судах должны применяться дополнительные агрегаты для обработки выхлопных газов двигателей, такие как скрубберы, каталитические нейтрализаторы и пр. Все это, несомненно, приводит к удорожанию эксплуатации судна.

Итогом всего вышеперечисленного является проблема снижения затрат на горюче-смазочные материалы при соблюдении всех международных требований. Один из действенных методов разрешения данной ситуации – использование более дешевого и экологичного топлива – природного газа.

## **ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ**

В качестве объекта исследования в этой статье выступает динамика процесса перехода от использования традиционных нефтяных топлив к использованию природного газа, причем независимо, в каком виде это топливо используется – в газообразном или сжиженном.

Природный газ – газообразное топливо, которое на 98 % состоит из метана [1] и не содержит различных вредных примесей и тяжелых металлов, свойственных традиционным бензиновым или дизельным топливам. Сам метан при полном сгорании образует только диоксид углерода и водяной пар [1]. Применение такого топлива на судах позволяет соблюсти все требования Международной морской организации не только в мировом океане, но и в зонах повышенного контроля.

## **ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Целью данной статьи является исследование тенденции перехода от нефтяных топлив к использованию природного газа, что включает:

- 1) определение преимуществ и выгоды процесса перехода от традиционных топлив;
- 2) определение условий, при которых этот процесс возможен;
- 3) установление примерных сроков этого процесса;
- 4) рассмотрение возможности перехода судов флота рыбной промышленности и формулирование вариантов их модернизации.

## **МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Чтобы достигнуть поставленной цели, в качестве главного метода исследования использовался анализ различных информационных источников, таких как научные статьи, новостные и исторические статьи, а также информации, предоставляемой организациями, которые являются поставщиками и производителями природного газа.

Также были проанализированы исследования по применению газообразного топлива в транспортных средствах, проводимые ранее.

## **РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Уже сегодня просматривается тенденция к отказу от использования традиционных нефтяных топлив и применению жидкого и газообразного метана. Причем данная тенденция проявляется во всех видах транспорта – как морского, так и наземного. С каждым годом растет число судов и автомобилей, в которых метан используется как основное топливо, а потребление нефтяного топлива из года в год остается примерно на одном и том же уровне. Это показывает статистика продаж от предприятия «Газпромнефть Марин Бункер» (рисунок), одного из ведущих поставщиков судового топлива в России [2].

Сама идея использования природного газа в качестве топлива для транспортных средств не нова. Еще в 30-х годах прошлого столетия осуществлялись разработки и проводились эксперименты по использованию газового топлива на автотранспортных средствах, правда газ был не природным, а нефтяным – смесь пропана и бутана. Но широкого распространения такая идея не получила – отсутствовала насущная необходимость поиска альтернативного топлива. В морской индустрии первый опыт использования именно природного газа, как основного топлива, пришелся на танкера-газовозы, которые перевозили СПГ. В силу своих физических особенностей природный газ переходит в жидкую фазу при температуре минус 158 – минус 163 °С, поэтому для его транспортировки используются специальные термоизолируемые танки. Но судовая перевозка достаточно долгая, поэтому даже в таких танках сжиженный природный газ начинает нагреваться и интенсивно испаряться. Давление при испарении газа в закрытом пространстве может достичь значения более 200 бар, естественно, на такое давление судовые танки для СПГ не рассчитаны. Поэтому, чтобы не сбрасывать лишнее давление в атмосферу, а с ним и драгоценный груз, было принято решение использовать его в качестве топлива.

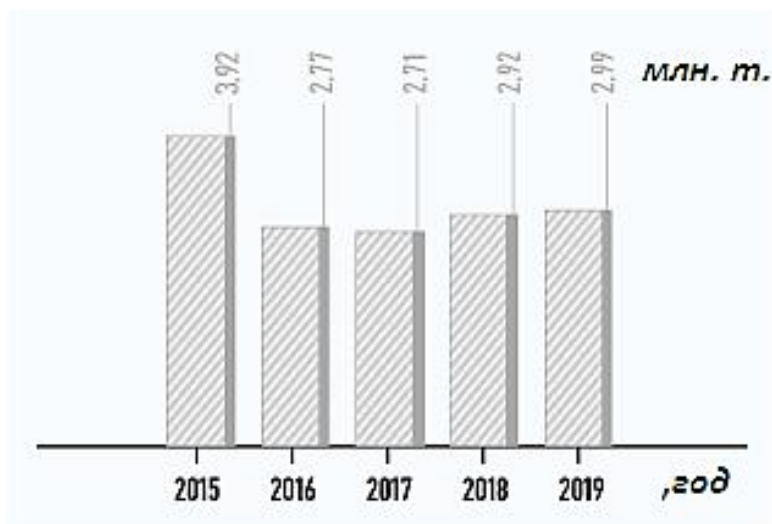


Рисунок – Статистика продаж судового топлива от компании «Газпромнефть Марин Бункер»

Первым танкером для перевозки СПГ, который использовал выкипевший газ в качестве топлива, было судно под названием «Methane Princess», построенное в 1964 г. в Великобритании для доставки СПГ из Алжира в Англию. Танкер имел алюминиевые вкладываемые танки, паровую турбину в качестве главного двигателя, а в паровых котлах утилизировался выкипевший из танков метан. Но на сегодняшний день не только газозавозы потребляют природный газ в качестве топлива. На этот вид топлива переводят суда различных назначений, например, суда типа Ro-Ro и Lo-Lo, пассажирские лайнеры, контейнеровозы и пр. На рынок судовых двигателей фирма «Wartsila» выпускает двухтопливные двигатели, которые могут работать на традиционном дизельном топливе и на природном газе, и двигатели, которые работают только на СПГ. В совместном отчете Корейского банка развития и Корейского агентства по содействию торговли и инвестициям указывается, что в перспективе на 2025 г. 60 % всех судов в мире будут работать на СПГ [3].

Несмотря на все преимущества СПГ как топлива, природный газ имеет и ряд недостатков, связанных с его хранением. Как было описано ранее, для хранения СПГ используются специальные термоизолируемые танки, что приводит к удорожанию самого судна. Сложность хранения является только одним из основных недостатков природного газа как топлива. Даже в сжиженном состоянии природный газ имеет меньшую удельную объемную теплотворную способность, чем традиционные нефтяные топлива (таблица), это означает, что при той же автономности, судно, работающее на СПГ, должно иметь топливные танки в примерно 1,5 раза больше, чем судно, работающее на нефтяном топливе. Это, несомненно, минус, так как пространство на судне является ценным ресурсом.

Таблица – Сравнение характеристик топлив

Наименование	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Удельная массовая теплота сгорания, МДж/кг	Удельная объемная теплота сгорания, МДж/м <sup>3</sup>
СПГ	450	49	22050
Бензин	710	45	31240
Дизельное топливо	860	44	37840

Под вопросом остается использование СПГ как основного топлива для флота рыбной промышленности (ФРП). Сложность использования вытекает напрямую из вышеперечисленных недостатков. Дело в том, что суда ФРП в основном состоят из траулера, а они имеют свои особенности конструкции. У траулера на борту множество агрегатов, которые обеспечивают ловлю рыбы, а также ее обработку, но в тоже время конструкция траулера должна быть компактной для обеспечения высокой маневренности,

которая также необходима. К тому же траулер должен быть оснащен мощной энергетической установкой, достаточной для поддержания нужной скорости на режиме траления. Естественно, что такая судовая энергетическая установка (СЭУ) также будет занимать много места на судне.

В России большую часть ФРП составляют суда, построенные еще в СССР и странах социалистического содружества, имеющие ресурс для дальнейшей работы. Перевод этих судов на использование природного газа может существенно снизить затраты на их эксплуатацию. Для выполнения этой задачи суда должны пройти модернизацию.

Возможны два варианта модернизации. Первый вариант подразумевает модернизацию действующих топливных танков судна под заправку их СПГ путем нанесения на их стенки термоизолирующего материала и дополнением заправочной и питательной оснасткой, в СЭУ модернизируется только топливная аппаратура. К положительным сторонам такой модернизации можно отнести уменьшение расходов на эксплуатацию судна, повышенную экологичность СЭУ, что позволит заниматься промыслом даже в зонах повышенного контроля. Минусом является пониженная автономность судна, так как уменьшится объем танков из-за термоизолирующего слоя, и сам СПГ будет иметь меньшую объемную теплотворную способность.

Второй вариант модернизации подразумевает изменения СЭУ, связанные с заменой громоздких поршневые ДВС на более компактные газотурбинные установки или парогазовые установки с бинарным циклом. При этом в машинном отделении судна освобождается драгоценное пространство, в котором можно разместить промышленные газовые баллоны для хранения СПГ. К плюсам такой модернизации можно отнести и повышенную экологичность СЭУ и рост автономности судна, так как запасы топлива на судне возрастут, дополнительно можно переходить с одного вида топлива на другой. К минусам относится недолгая работа судна на самом природном газе – около семи суток, а также дороговизна, так как замена двигателя является очень затратной операцией. Такая модернизация более подробно описана в статье «Бинарная энергетическая установка траулера «Атлантик-333» на сжиженном природном газе» [4].

Рассмотрим более подробно первый вариант модернизации рыболовного траулера, а точнее, модернизацию топливной системы двигателя под использование СПГ. Экономически этот вариант более выгоден, так как замена двигателя на тот, который будет работать на природном газе, является очень дорогой операцией. Поэтому есть смысл модернизировать уже существующие двигатели, причем из-за высокого ресурса агрегатов, построенных в СССР, они еще не устарели и способны прослужить еще некоторое время. Модернизация топливной системы может включать большое множество типов и разновидностей, но был выбран самый простой вариант.

Этот вариант подразумевает использование комбинированной форсунки, которая в камеру сгорания может подавать как дизельное топливо, так и природный газ. Это позволит работать двигателю на разных типах топлива и переключаться с одного типа топлива на другой в случае необходимости. При использовании дизельного топлива двигатель будет работать в штатном режиме – подача топлива форсункой в конце сжатия и самовоспламенение его от высокой температуры. В случае использования природного газа процесс будет происходить следующим образом. Либо на такте впуска, либо в начале такта сжатия в цилиндр двигателя будет подаваться порция метана, после этого на такте сжатия смесь воздуха и газа сжимается. В конце сжатия происходит подача небольшого количества дизельного топлива, которое самовоспламенится и подожжет газоздушную смесь. Здесь следует обратить внимание на то, что температура самовоспламенения метана составляет примерно 810 К, а у дизельного топлива – 475 К, поэтому температура смеси метана и воздуха в конце сжатия должна находиться в диапазоне от 500 до 800 К. По предварительным расчетам для двигателя NVD 24, который является достаточно распространенным для судов ФРП советской постройки, температура газоздушной смеси в конце сжатия приближается к значению 800К, что является критическим. Опасно это тем,

что в двигателе могут происходить преждевременные поджоги топлива, которые приведут к неровной работе, потере мощности и уменьшению срока службы двигателя. Поэтому необходимо принудительно уменьшить степень сжатия двигателя путем установки прокладки между блоком и головкой цилиндров более толстого размера.

Главная сложность состоит в том, что нужно сконструировать такую комбинированную форсунку, которая могла бы монтироваться на штатное место старой без переделки цилиндровой головки. Для этого можно использовать корпус от стандартной форсунки, в котором требуется проточить каналы для подачи природного газа и расточить внутреннее отверстие для того, чтобы в нем установить более компактную, современную дизельную пьезоэлектрическую форсунку, в которой подача топлива регулируется пьезоэлектрическим клапаном. Для подачи газа монтируется электромагнитный клапан. Оба клапана управляются специальным устройством, которое должно считывать положение коленчатого вала двигателя и в зависимости от него открывать или закрывать нужные клапана.

Получается, что подача дизельного топлива будет осуществляться по системе Common rail. Для этого потребуется ресивер находящимся в нем дизельным топливом под давлением, с которым оно будет подаваться в камеру сгорания двигателя. Для подачи топлива в ресивер и создания давления могут использоваться штатные топливные насосы высокого давления.

Данная топливная система позволит использовать природный газ в качестве топлива с минимальной модернизацией самого двигателя траулера и тем более без его замены, что позволит удешевить процесс модернизации. Но работоспособность предложенной системы может установиться только в процессе эксперимента.

Также не стоит забывать о том, что стоимость природного газа на рынке топлива примерно в 2,5-3,5 раза ниже (в зависимости от агрегатного состояния и поставщиков), чем у нефтяного дизельного топлива, что позволит соответственно сократить расходы на топливо при эксплуатации судна. На сегодняшний день статья расходов на топливо может достигать более 70 % от всех расходов за рейс. И получается, что затраты на модернизацию судна будут окупаться в основном от более дешевой цены самого топлива. Сроки окупаемости такого проекта можно только предположить, так как на это влияет множество факторов: стоимость оборудования для модернизации (в зависимости от производителя, стоимость одних и тех же агрегатов может существенно меняться), а также длительность эксплуатации судна. Получается, чем больше судно находится на промысле, тем быстрее окупятся расходы на модернизацию вследствие более низкой цены на природный газ.

Для более точной оценки природного газа как топлива не лишним будет изучить опыт его использования в сфере наземного транспорта. Ведь проблемы использования энергетического топлива имеют общие цели и тенденции как у морского транспорта, так и наземного – это экономичность, безопасность и экология, а также все они приводятся в движение классическими поршневыми ДВС.

В автомобилестроении газовое топливо нашло применение гораздо раньше, чем в судовой отрасли, правда, газ был не природный, а нефтяной. Еще в 30-х годах прошлого столетия в Советском Союзе были построены автомобили на базе грузовиков ЗИС-5, ЗИС-8 и ГАЗ-АА, работающие на газе, которые успешно прошли испытания на длинных дистанциях и в горных местностях. Результаты были положительными – выбросы отработавших газов менее токсичны, работа двигателя более стабильна, по сравнению с работой на бензине, увеличился ресурс двигателя и масла. Одно из основных преимуществ – экономическая выгода, так как нефтяной газ – это попутный продукт, полученный при переработке нефти, до этого он практически никак не использовался [5].

Конкретно на природном газе автомобили стали работать относительно недавно. Связано это с физическими свойствами самого газа. Его можно хранить в сниженном состоянии в специальном криобаллоне, как упоминалось ранее, или в сжатом состоянии при

давлении 200 атм в баллонах высокого давления. Такое оборудование до недавнего времени было относительно сложным для автомобилей, но последние десять лет ситуация меняется.

В Европе, конкретно в Германии, активное развитие автогазовая индустрия получила с выпуском автомобиля Фольксваген «VW eSource!», появившимся в продаже осенью 2012 г., после этого продажи автомобилей, работающих на природном газе, увеличились. Коммерческий транспорт также не остался в стороне, сегодня уже серийно выпускаются магистральные тягачи IVECO STRALIS NP 460, которые работают только на сжиженном природном газе. В России развитие газомоторной области началось примерно в то же время. В декабре 2012 г. была образована компания «Газпром газомоторное топливо», заявленная стратегическая цель которой – «обеспечение значительного и стабильного роста продаж компримированного и сжиженного природного газа на рынке моторного топлива в России и за рубежом». Это дало сильный толчок развития автогазовой отрасли, так как по всей России появилась сеть автомобильных газонаполнительных компрессорных станций, а также спонсировался перевод частных и коммерческих автотранспортных средств на работу на природном газе.

Стоит отметить, что двигатели автотранспортных средств, работающих на природном газе, отвечают требованиям самых высоких на сегодняшний день экологических стандартов «Евро-5» и «Евро-6», и это без использования дополнительного сложного оборудования для очистки выхлопных газов двигателя.

Экологический стандарт «Евро-5» ограничивает выбросы углекислого газа (CO<sub>2</sub>) до 0,8 г/км, однако при использовании природного газа уровень этих выбросов не превышает значения в 0,1 г/км, выбросы окислов азота (NO<sub>x</sub>), по сравнению с выбросами от использования бензиновых топлив, уменьшаются в 1,2 раза, а выбросы углеводородов – почти в 2 раза [6].

Также стоит упомянуть, что природный газ долгое время используется в качестве топлива в бинарных энергетических установках тепловых электростанций, которые обладают высокой эффективностью и относительной экологичностью.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Из всего вышеперечисленного можно сделать вывод, что тенденция к переходу на природный газ в качестве основного топлива для транспортных средств видна невооруженным глазом. Существует острая необходимость в использовании этого топлива, запасы которого на много выше, а цена ниже, чем у нефтяных топлив. Технологии для хранения природного газа достигли нужных значений, чтобы это было относительно дешево и общедоступно. Экологичность топлива не оставляет сомнений, а также проведенные исследования показывают, что при использовании природного газа как топлива повышается ресурс двигателей, что, в свою очередь, к дешевизне самого газа добавит снижение издержек на эксплуатацию энергетических установок. Также были предложены варианты модернизации судов ФРП.

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Слепнева, Н.П. Метан как перспективное топливо / Н.П. Слепнева, Г.П. Комина, М.А. Нефедова, С.Д. Пестич // Вестник науки и образования. – 2019. – № 21. – С. 22-24.
2. Бункеровка судов // Газпромнефть [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.gazprom-neft.ru/company/retail/bunkering/> (дата обращения: 12.09.2020).
3. 60 % судов на СПГ к 2025 году // SeaNews [Электронный ресурс]. – URL: <https://seanews.ru/2019/04/30/ru-60-sudov-na-spg-k-2025-godu/> (дата обращения: 12.09.2020).
4. Ореховский, Е.М. Бинарная энергетическая установка траулера «Атлантик-333» на сжиженном природном газе / Е.М. Ореховский // Дни науки: материалы межвузовской научно-технической конференции студентов и курсантов на базе ФГБОУ ВО

«Калининградский государственный технический университет». – Калининград, 2019. – С. 368-371.

5. Матвейчук, А. А. Газовая развилка / А.А. Матвейчук // Сибирская нефть: электронный журнал. – 2016. – № 128 [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.gazprom-neft.ru/press-center/sibneft-online/archive/2016-february/1111828/> (дата обращения: 18.09.2020).

6. Новицкий, И. Россия переходит на газомоторное топливо / И. Новицкий // Коллективный блог «Конт». 23.07.2015. [Электронный ресурс]. – URL: <http://cont.ws/post/103554> (дата обращения: 26.09.2020).

## BACKGROUND AND PROSPECTS FOR USING NATURAL GAS AS FUEL FOR MARINE AND LAND VEHICLES

E.M. Orekhovsky, PhD student,  
e-mail: [evgenij.orekhovskij@klgtu.ru](mailto:evgenij.orekhovskij@klgtu.ru)  
Kaliningrad State Technical University

Today, one of the promising areas in the transport energy is the use of liquefied natural gas as a fuel. The use of relatively environmentally friendly natural gas instead of liquid petroleum fuel will significantly improve the environmental friendliness of both land and water transport, including the fishing industry fleet. The constant tightening of standards for harmful emissions of exhaust gases from engines stimulates the development of new power plants, including plants operating on liquefied natural gas. The article discusses the current situation with the use of natural gas as a fuel for sea and land transport.

**Key words:** *liquefied natural gas (LNG), transport, ecology*