

УДК 656.624.2.052.08

**А.Н. Соболенко<sup>1</sup>, Б.Н. Воробьев<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,  
690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52б

<sup>2</sup>Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского,  
69003, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, 50а

## **ПРОБЛЕМЫ ВНЕДРЕНИЯ ГАЗОМОТОРНОГО ТОПЛИВА В СУДОВЫХ ДИЗЕЛЯХ**

*Существует насущная необходимость перевода российской судовой энергетики на газомоторное топливо. Но особых сдвигов в этом направлении нет.*

*Газообразное топливо, в частности природный газ, имеет ряд преимуществ по сравнению с жидким топливом. Это хорошие антидетонационные качества газовых топлив, благоприятные условия смесеобразования, широкие пределы воспламенения в смесях с воздухом.*

*По удельной мощности и топливной экономичности лучшие современные газовые и газожидкостные двигатели близки к жидкотопливным, а по токсичности отработавших газов, износу имеют значительные преимущества перед ними.*

*Разработаны системы топливоподачи с количественным, качественным и смешанным регулированием газовых двигателей.*

*Для перевода работы судовых дизелей с жидкого на газообразное топливо система топливоподачи двигателя должна быть дооборудована газовой аппаратурой и предусмотрены соответствующие меры безопасности.*

*Конвертирование жидкотопливных дизелей на газожидкостный цикл на практике имеет ряд проблем как организационного, так и технического характера. Это проблема технической политики, недостаточная нормативная база для эксплуатации судов на газомоторном топливе, отсутствие инфраструктуры для заправки судов газом в российских портах, отсутствие рекомендаций по выбору режимов работы при переводе на газ для основной массы существующих дизелей.*

*Начинать внедрение газа необходимо с организации переподготовки экипажей судов для обучения их работе на природном газе. Практическую реализацию перехода на газ следует начинать с судов портофлота.*

**Ключевые слова:** газомоторное топливо, дизели, проблемы.

## **A.N. Sobolenko, B.N. Vorobjev PROBLEMS OF GAS FUEL USAGE IN SHIP ENGINES**

*There is an urgent need to transfer Russian marine power to gas fuel. But there are no special deals in this direction. Gaseous fuels, in particular natural gas, have a number of advantages over liquid fuels. These are good anti-knock qualities of gas fuels, favorable conditions of mixture formation, wide limits of ignition in mixtures with air. According to the specific power and fuel efficiency of the best modern gas and gas-liquid engines are close to liquid fuel, and the toxicity of exhaust gases has significant advantages over them. Fuel supply systems with quantitative, qualitative and mixed regulation of gas engines are developed. To transfer the operation of marine diesel engines from Diesel mode to Gas mode, the fuel supply system of the engine must be fitted with gas equipment and appropriate safety measures are to be provided. Conversion of Diesel mode engines to Gas mode engines in practice has a number of problems of both organizational and technical nature. This is a problem of technical policy, insufficient regulatory rules for the operation of gas-powered vessels, the lack of infrastructure for refueling ships with gas in Russian ports, the lack of recommendations on the choice of modes of operation when transferring to gas for existing diesel engines. It is necessary to start gas introduction with the organization of retraining of vessels crews to work with natural gas. The practical realization of Conversion of Diesel mode engines to Gas mode engines has to begin with Portoflot vessels.*

**Key words:** natural gas, diesel engines, problems.

## Введение

Одной из острых задач, стоящих перед судовой энергетикой в настоящее время, является использование топлива с низким содержанием серы или с её полным отсутствием.

Начиная с 2020 г. согласно требованиям международной конвенции будут введены ограничения на использование топлива с содержанием серы более 0,5 %. Это приведёт к тому, что невозможно будет использовать тяжёлое топливо и придётся либо переводить судовые дизели транспортного флота на более дорогое дизельное топливо, либо остановить флот.

В странах Евросоюза очень активно ведутся работы по переводу судовой энергетики на природный газ. В России особой активности не наблюдается. Можно предположить, что в такой ситуации в 2020 г. российский флот либо встанет на прикол, либо, быстренько переоборудовавшись под газомоторное топливо импортным оборудованием, будет бункероваться российским газом в иностранных портах, естественно, по более высокой цене.

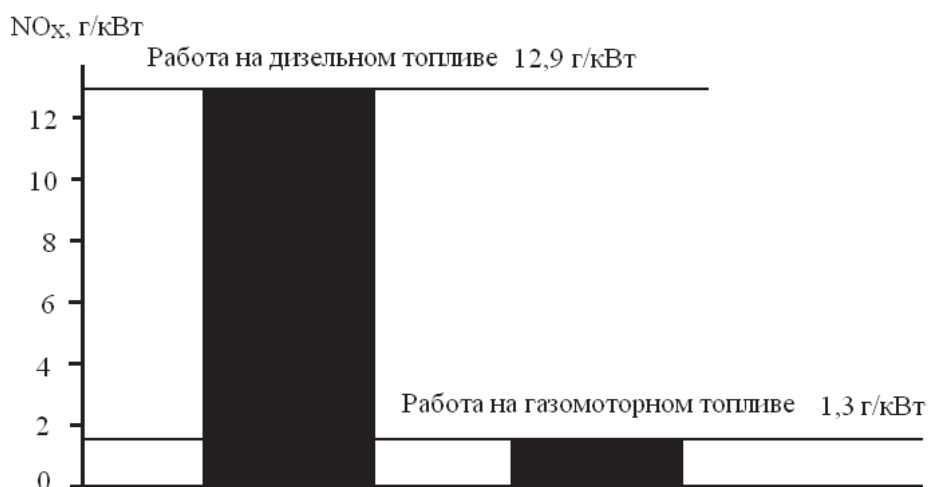
Некоторый оптимизм вызывает подписанный в период работы Восточного экономического форума во Владивостоке в августе 2016 г. Меморандум по исследованиям в области СПГ-бункеровки по Дальневосточному региону между компанией «Газпром» и «Mitsui» [1]. В этом документе изложены намерения сторон по совместному проведению технико-экономического и маркетингового анализа бункеровки морского транспорта сжиженным природным газом на территории Дальнего Востока России и Азиатско-Тихоокеанского региона [1].

## Преимущества и особенности использования природного газа в судовых дизелях

Газообразное топливо, в частности природный газ, имеет ряд преимуществ по сравнению с жидким топливом. Это хорошие антидетонационные свойства природного газа, благоприятные условия смесеобразования (воздух смешивается с газом), широкие пределы воспламенения в смесях с воздухом.

Современные дизельные двигатели, использующие природный газ в качестве топлива, по удельной мощности и топливной экономичности близки к дизельным двигателям, использующим дизельное или тяжёлое топливо, но имеют существенно меньшую эмиссию токсичных выбросов в выпускных газах.

На рисунке приведены данные по выбросу окислов азота двигателя среднеоборотного четырёхтактного дизеля типа 51/60 DF фирмы MAN при работе на жидком топливе и природном газе с запальной дозой жидкого топлива в 1 % [8].



Эмиссия NO<sub>x</sub> при работе на дизельном топливе и газомоторном топливе  
NO<sub>x</sub> emission when Diesel mode and Gas mode

Как следует из рисунка, значение эмиссии NO<sub>x</sub> уменьшается почти в 10 раз с 12,9 до 1,3 г/кВт.

Газовые двигатели обычно создают на базе серийно выпускаемых двигателей, работающих на жидком топливе.

В середине прошлого века были созданы двигатели, работающие на газе с внутренним смесеобразованием и форкамерно-факельным зажиганием. По такой схеме в России выпускали двигатели большой размерности для дизель-генераторов и газомотокомпрессоров на заводе «Русский дизель». Позже, прежде всего, зарубежными фирмами были созданы двигатели с системами топливоподачи сжиженного природного газа.

В этих системах сжиженный природный газ при подаче к двигателю вначале преобразовывался в газообразное состояние, а затем смешивался с воздухом в газоздушном миксере, установленном во впускном трубопроводе. Таким образом, осуществлялось внешнее смесеобразование. Внешнее смесеобразование осуществлялось в специальных смесительных устройствах – миксерах, обеспечивающих необходимый состав смеси на всех режимах.

При этом были разработаны системы топливоподачи с количественным, качественным и смешанным регулированием газовых двигателей.

Воспламенение газообразного топлива в камере сгорания дизеля возможно от дополнительной свечи зажигания (форкамерно-факельное зажигание), за счёт теплоты сжатия газоздушной смеси и от запальной дозы дизельного топлива.

Газовые двигатели с форкамерно-факельным зажиганием являются значительно более сложными, чем двигатели с внешним смесеобразованием не нашли широкого применения.

Непосредственное использование газообразных топлив в дизелях без дополнительной свечи зажигания возможно только при степени сжатия  $\varepsilon = 22,0$  и выше, что обусловлено высокой температурой самовоспламенения природного газа. Поэтому преимущественное распространение получили газодизели, в которых в конце такта сжатия газоздушной смеси осуществляется впрыскивание запальной дозы дизельного топлива. Причём величина запальной дозы зависит от особенностей газодизеля (его размерности, уровня форсирования, свойств газообразного топлива) и может колебаться в широких пределах (от 1 до 50 %) [2, 7].

При конвертировании обычного дизеля в газодизель требуется минимальное переоборудование двигателя. Наиболее простой является установка газоздушного смесителя во впускной трубопровод с системой регулирования подачи газа при изменении нагрузочного режима (качественное регулирование) и некоторой конструктивной модернизации регулятора подачи запальной дозы дизельного топлива. Этот способ имеет ограниченное применение только для четырёхтактных дизелей. Для двухтактных дизелей, имеющих значительное значение коэффициента продувки (1,3÷1,6), при таком способе будут иметь место значительные потери газа и создаётся взрывоопасная смесь на выпуске. В настоящее время разработаны двухтопливные форсунки и системы подачи газового топлива и дизельного топлива на один дизель. Двухтопливная форсунка – это, по сути, две форсунки, объединённые в одном общем корпусе. Одна игла служит для подачи запального жидкого топлива, другая – для подачи основного газообразного топлива. Как правило, для магистрали подачи запального жидкого топлива служит система Common Rail. Управление подачей как запального жидкого топлива, так и основного газового топлива осуществляется электронным блоком.

В настоящее время уделяется большое внимание переводу работы судовых дизелей с жидкого на газообразное топливо с целью снижения расходов на топливо и снижения токсичных выбросов с выхлопными газами. В этом случае система топливоподачи двигателя должна быть дооборудована газовой аппаратурой и предусмотрены соответствующие меры безопасности.

Следует иметь в виду, что массовое конвертирование жидкотопливных дизелей на газо-жидкостный цикл на практике не так просто осуществить. Придется столкнуться с рядом проблем. Какие же это проблемы?

### **Проблемы, требующие решения**

Во-первых, проблема технической политики. Это значит, что судовладельцы должны чётко представлять себе, что в создаваемой ситуации по ограничению выбросов сернистых соединений в атмосферу от судовой энергетики перевод дизелей на газомоторное топливо – насущная необходимость. Необходимо провести работы по разработке типовых проектов переоборудования судов на газ. Выполненные в Московской государственной академии водного транспорта [2, 3, 4] научно-технические проработки использования природного газа на судах не закрывают основные вопросы.

Во-вторых, разработать ведомственную нормативную базу использования газомоторного топлива.

В-третьих, законодательно запретить использование старых судов и произвести их утилизацию.

В-четвертых, создать инфраструктуру для заправки судов сжиженным природным газом [5].

В-пятых, нет рекомендаций, как следует изменить режимы работы дизелей при переходе на природный газ. Что будет с теплонапряжённостью, механической напряжённостью, каковы сорта моторных масел применять наиболее целесообразно, как следует проводить регламентные работы по техобслуживанию дизелей и т.д. На каких режимах проводить переход с дизельного топлива на газо-жидкостное и обратно.

Внедрение газа необходимо начать с судов портового флота. Почему? Потому что, во-первых, дизели на этих судах небольшой мощности и можно использовать аппаратуру, разработанную и предлагаемую на рынке для автомобильного транспорта. Во-вторых, проблема заправки может быть решена на начальном этапе посредством использования автомобильных заправщиков-метановозов. В-третьих, существующие суда не имеют мест для установки ёмкостей для хранения сжиженного или компримированного газа в больших объёмах.

Как показали проведённые предварительные расчёты для буксира водоизмещением 1600 т с двумя главными дизелями мощностью по 1000 кВт, установка двух ёмкостей объёмом по 14 м<sup>3</sup> каждая позволит работать на сжиженном природном газе чуть более двух суток. Это притом, что на дизельном топливе его автономность составляет 20 сут.

Для судов портового флота это не критично, для рыболовных судов прибрежного плавания тоже не критично. Но для судов транспортного флота, судов океанического рыболовства необходимо строить суда-газозаправщики. Это уже относится к технической политике государства.

Необходимо организовать систему переподготовки экипажей судов для обучения их работе на природном газе. Для этого уж сейчас в учебные планы специальности должны быть введены соответствующие курсы. Тренажёры машинного отделения должны иметь возможность моделировать работу не только на дизельном и тяжёлом топливе, но и на природном газе.

Создать теплотехнические партии, способные провести теплотехнические испытания судов, переоборудованных на газ.

### **Заключение**

В настоящее время в России производятся все элементы, необходимые для обеспечения работы на газовом топливе судов небольшого водоизмещения: двигатели, работающие на газомоторном топливе, специальные криогенные ёмкости для хранения сжиженного га-

за, приборы для анализа наличия природного газа в воздухе. Всё это оборудование имеет одобрение Российского Морского Регистра судоходства. Преодоление вышеприведённых проблем уже начато, и можно заключить, что в ближайшем будущем использование природного газа займёт своё место на судах. Технических трудностей и нормативных ограничений по применению на судах этого вида топлива в настоящее время нет [6].

### Список литературы

1. «Газпром» и Mitsui подписали меморандум по исследованиям в области СПГ-бункеровки [Электронный ресурс]: PortNews. Режим доступа: portnews.ru/top\_news/print/225594 (дата обращения 22.08.16).

2. Переоборудование энергоустановок речных теплоходов городских линий Московского региона (на примере теплохода пр. Р-51 «Москва») для работы на сжатом природном газе: отчёт о НИР / Московская гос. академия водного транспорта; рук. Толшин В.И.; отв. исполн.: Епифанов В.С.; исполн.: А.А. Фомин и др. М., 1997. 105 с. № ГР 01.97.0004875.

3. Разработка концепции применения сжиженного природного газа на водном транспорте: отчёт о НИР (заключ.) / Московская гос. академия водного транспорта; рук. Толшин В.И.; отв. исполн.: Епифанов В.С.; исполн.: А.А. Фомин и др. М., 2001. 61 с. № ГР 01.2.00113152.

4. Разработка технических требований к судам, использующим в качестве моторного топлива сжиженный природный газ: отчёт о НИР (заключ.) / Московская гос. академия водного транспорта; рук.: Толшин В.И.; отв. исполн.: Епифанов В.С., науч. консультант: Толшин В.И., исполн.: Крушинский В.В. М., 2005. 159 с. № ГР 0120.0502919.

5. Костылев И.И., Коняев Д.В. Бункеровка как фактор сдерживания применения газового топлива на судах // Вестн. ГУМРФ. 2016. Вып. № 5(39). С. 134–144.

6. Правила Российского Речного Регистра 2008 года издания: в 4 т. Т. 4. ПССП, ПЭБ. Дополнение № 2 «Временные технические требования к судам-газоходам, использующим КПГ».

7. Соболенко А.Н., Воробьёв Б.Н. Об организации рабочего процесса при использовании газомоторного топлива в судовых дизелях. Проблемы транспорта Дальнего Востока: докл. двенадцатой Междунар. науч.-практ. конф. 18–20 октября 2017 г. Владивосток: ДВО Российской академии транспорта, 2017. С. 60–64.

8. Rainer Sakowcky. MAN Diesel. PrimeServ Academy Augsburg. 08.07.2013. 56 p.

**Сведения об авторах:** Соболенко Анатолий Николаевич, доктор технических наук, профессор, e-mail: sobolenko\_a@mail.ru;

Воробьёв Борис Николаевич, кандидат технических наук, доцент, e-mail: vorobjev@msun.ru.