



ТРАНСПОРТ НА АЛЬТЕРНАТИВНОМ ТОПЛИВЕ



№ 3 (45) 2015



Реклама

Транспорт на природном газе: сделано в России!

Альтернативное топливо в авиации

Рынок газомоторного топлива в Республике Саха (Якутия)

Зарегистрирован в Федеральной службе по надзору
в сфере массовых коммуникаций, связи и охраны
культурного наследия.

Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-30114

Включен в Перечень ВАК

Учредитель и издатель

НП «Национальная газомоторная ассоциация» (НГА),
аффилирована с Международным газовым союзом

Периодичность

6 номеров в год

Главный редактор

П.Г. Цыбульский

генеральный директор ООО «Газпром ВНИИГАЗ», к.т.н.

Члены редакционной коллегии

А. Беранек

генеральный директор ООО «ВИТКОВИЦЕ Рус» (Чехия)

Б.В. Будзуляк

председатель Комиссии по использованию
природного и сжиженного нефтяного газа
в качестве моторного топлива, д.т.н.

С.П. Горбачев

профессор, главный научный сотрудник
ООО «Газпром ВНИИГАЗ», д.т.н.

В.И. Ерохов

профессор «МАМИ», д.т.н.

Р.З. Кавтарадзе

профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана, д.т.н.

Т.В. Климова

начальник службы по связям с общественностью
и СМИ ООО «Газпром ВНИИГАЗ»,

заместитель главного редактора

С.И. Козлов

д.т.н.

С.В. Люгай

директор Центра использования газа

ООО «Газпром ВНИИГАЗ», к.т.н., исполнительный директор НГА

В.А. Марков

профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана, д.т.н.

А.В. Николаенко

ректор «МАМИ», профессор, д.э.н.

Ю.В. Панов

профессор МАДИ, к.т.н.

Н.Н. Патрахальцев

профессор Российского университета дружбы народов, д.т.н.

Е.Н. Пронин

член совета НГА

В.Л. Стативко

ветеран газовой отрасли, к.т.н.

В.Н. Фатеев

зам. директора НИЦ «Курчатовский институт», д.х.н.

Редактор

О.А. Ершова

E-mail: transport.1@ngvrus.ru

Тел.: +7 (498) 657 29 76

Отдел подписки и рекламы

E-mail: transport.2@ngvrus.ru

Тел.: +7 (498) 657 29 77

Перевод

А.И. Хлыстова

Компьютерная верстка

И.В. Шерстюк

Адрес редакции:

142717, Московская обл., Ленинский р-н, п. Развилка, а/я 253
www.ngvrus.ru

Отпечатано с представленного электронного оригинал-макета

в ООО «Типография «ПАРТНЕР-ПРИНТ»

109202, Москва, Басовская ул., 16, стр. 1

Номер заказа

Сдано на верстку 15.04.2015 г.

Подписано в печать 15.05.2015 г.

Формат 60x90 1/8. Тираж 3000 экз. Бумага мелованная.

Печать офсетная, печ. л. 10,5

При перепечатке материалов ссылка на журнал

«Транспорт на альтернативном топливе» обязательна.

Редакция не несет ответственности за достоверность информации,

опубликованной в рекламных материалах

На обложке:

экспозиция газовой техники ОАО «КАМАЗ»

В НОМЕРЕ

| | |
|--|----|
| Транспорт на природном газе: сделано в России! | 3 |
| Научно-практический семинар «Развитие газомоторной инфраструктуры: опыт, состояние, перспективы» | 8 |
| Белоусова С.Ю., Зарубин В.С., Осадчий Я.Г. Численное моделирование теплового состояния металлокомпозиционного автомобильного баллона при заполнении метаном | 15 |
| Соколов А.Н. Перспективы развития рынка газомоторного топлива в Республике Саха (Якутия) | 25 |
| Мерзликина К.И., Солодовников Д.Н. Сравнительный анализ экономической оценки применения газового оборудования на автомобиле | 32 |
| Баранов И.Е., Фатеев В.Н., Порембский В.И., Калинин А.А. Авиационная силовая установка на водородовоздушных твердополимерных топливных элементах | 36 |
| Руденко В.Ф. Опыт создания систем газоподготовки для газовых локомотивов, работающих на СПГ | 45 |
| Лиханов В.А., Копчиков В.Н., Фоминых А.В. Влияние углов опережения подачи метанола и метилового эфира рапсового масла на образование оксидов азота в цилиндре дизеля | 51 |
| Заседание в Газпроме по вопросам охраны окружающей среды и энергоэффективности | 54 |
| Марков В.А., Девянин С.Н., Спиридонова Л.В. Экспериментальные исследования дизеля, работающего на смесях нефтяного дизельного топлива и льняного масла | 55 |
| Александров И.К. Способ определения механических потерь в двигателе внутреннего сгорания | 65 |
| Автопробег «Голубой коридор» | 68 |
| Первый трансокеанский переход на метане | 69 |
| Метан на военной технике | 70 |
| Успешный испытательный пробег первого немецкого судна на СПГ | 72 |
| Заправки СПГ Asda присоединяются к британской сети | 72 |
| Рост газомоторного рынка в Португалии | 73 |
| Первый двухтопливный грузовик Греции | 74 |
| Дноуглубительное судно на СПГ | 74 |
| Aspro запускает новую линию продуктов | 75 |
| 14 новых голландских тягачей на СПГ | 75 |
| Maruti Suzuki увеличивает продажи газовых автомобилей | 75 |
| Мировой рынок КПГ по состоянию на апрель 2015 г. | 76 |
| Abstracts of articles | 78 |
| Авторы статей в журнале № 3 (45) 2015 г. | 80 |



Registered with the Federal Service for Supervision in Mass
Communications and Cultural Heritage Protection
Printed Matter Registration Certificate No. FS77-30114

Founder and Publisher

Non-Commercial Partnership National Gas-Vehicle
Association (NGVRUS), is affiliated with IGU

Published

6 issues a year

Editor-in-Chief

Tsybulsky, P.G.

Director General of Gazprom VNIIGAZ, PhD

Editorial board members

Beranek Antonin

*Director General
of VÍTKOVICE Rus (Czech Republic)*

Budzulyak, B.V.

*Chairman of the Commission for Use of Natural
and Liquefied Petroleum Gas as Gas-Motor Fuel,
Doctor of Engineering*

Erokhov, V.I.

MAMI Professor, Doctor of Engineering

Gorbachev, S.P.

Professor, Gazprom VNIIGAZ, Doctor of Engineering

Kavtaradze, R.Z.

Professor of N.E. Bauman's MGTU, Doctor of Engineering

Klimova, T.V.

*acting Head of Public and Mass Media Relations Service
of Gazprom VNIIGAZ, deputy chief editor*

Kozlov, S.I.

Doctor of Engineering

Lyugai, S.V.

*PhD, Director of the Centre «Gas Use»,
JSC «Gazprom VNIIGAZ»,*

executive director, NGVRUS

Markov, V.A.

Professor of N.E. Bauman's MGTU,

Doctor of Engineering

Nikolaenko, A.V.

Rector of the Moscow State Technical University (MAMI), Professor,

Doctor of Science

Panov, Yu.V.

Professor of MADI (GTU), PhD

Patrakhaltsev, N.N.

Professor of People's Friendship University of Russia,

Doctor of Engineering

Pronin, E.N.

member of the Council, NGVRUS

Stativko, V.L.

The vet of gas industry, Candidate of Science

Fateev, V.N.

Deputy Director of RNC Kurchatovsky Institute,

Doctor of Chemistry

Editor

Ershova, O.A.

E-mail: transport.1@ngvrus.ru

Phone.: +7 (498) 657 29 76

Subscription and Distribution Department

E-mail: transport.2@ngvrus.ru

Phone.: +7 (498) 657 29 77

Translation by

Khlystova A.I.

Computer imposition

Sherstyuk, I.V.

Editorial office address:

PO Box 253, p. Razvilka, Leninsky r-n,

Moskovskaya obl, 142717

www.ngvrus.ru

Order number

Passed for press on 15.04.2015

Endorsed to be printed on 15.05.2015

Format 60x90 1/8 Circulation 3,000 copies Enamel paper

Offset printing, 10,5 conditional printed sheets

When copying materials, a reference «Alternative Fuel Transport» International

Scientific and Technical Magazine is obligatory.

The editors are not responsible for accuracy of the information contained

in advertising matter.

CONTENTS

| | |
|---|----|
| Natural gas transport made in Russia | 3 |
| Research and Practice Seminar «Gas-vehicle infrastructure development. Background, state and horizons» | 8 |
| Svetlana Belousova, Vladimir Zarubin, Yakov Osadchy Numerical modeling of the car's metal-cylinder thermal state when filling methane | 15 |
| Anton Sokolov The prospects for natural gas motor fuel market in Republic of Sakha (Yakutia) | 25 |
| Merzlikina Xenia, Solodovnikov Dmitriy Comparative analysis of the economic evaluation usage On a gas-vehicle car | 32 |
| Ivan Baranov, Vladimir Fateev, Vladimir Poremsky, Alexander Kalinnikov Aviation powerplant on hydrogen-air solid polymer fuel cell | 36 |
| Vladimir Rudenko Experience of creating gas treatment systems for gas locomotives running on CNG Preliminary field testing | 45 |
| Vitaliy Likhanov, Viktor Kopchikov, Alexander Fominyh Influence of timing angles of methanol injection and rapeseed methyl ester on formation of nitrogen oxides in the diesel cylinder | 51 |
| Gazprom's meeting on environmental control and energetic efficiency | 54 |
| Vladimir Markov, Sergey Devyanin, Larisa Spiridonova Experimental research of diesel engine running on oil diesel fuel and linseed oil mixtures. | 55 |
| Igor Alexandrov . A method for determination of mechanical loss in the internal combustion engine | 65 |
| «Blue corridor» 2015 | 68 |
| The first transoceanic crossing on methane | 69 |
| Methane on military hardware | 70 |
| Test Run Successful for First German Liquefied Natural Gas Vessel. | 72 |
| Asda LNG Refuelling Station Joins UK Network. | 72 |
| Dealer-Gas Distributor Collaboration in Portugal to Grow NGV Market | 73 |
| Foreign news | 74 |
| Worldwide market of natural gas as motor fuel as at April 2015 | 76 |
| Abstracts of articles | 78 |
| Contributors to journal issue No 3 (45) 2015 r. | 80 |

Транспорт на природном газе: сделано в России!

Для газомоторной отрасли апрель ознаменовался двумя важными событиями. Председатель правления ОАО «Газпром» Алексей Миллер в Набережных Челнах провел совещание с автопроизводителями, посвященное вопросам расширения модельного ряда отечественного автотранспорта, работающего на природном газе. Дата и место проведения совещания были выбраны не случайно. В этот день, 22 апреля, в Набережных Челнах состоялось торжественное открытие производственной линии ОАО «КАМАЗ» производительностью до 8000 газовых автомобилей в год.



Алексей Миллер знакомится с новым производством газовых автомобилей ОАО «КАМАЗ»

Запуск нового производства стал важным шагом по развитию рынка газомоторного топлива. Однако, по оценкам специалистов, для удовлетворения растущего спроса на природный газ в качестве моторного топлива ежегодный объем производства газовых транспортных средств должен быть увеличен в разы.

Об этом, в первую очередь, свидетельствует высокий уровень заинтересованности региональных властей в переходе к использованию компримированного природного газа (КПГ). В 2014 году правительством Российской Федерации было принято постановление о выделении субъектам РФ субсидий на закупку газомоторного транспорта в объеме 3,7 млрд рублей. По итогам года от 30 регионов были получены заявки на сумму более 6 млрд рублей на закупку 2517 автобусов и 697 единиц газобаллонной техники для ЖКХ. В результате в марте 2015 года правительство РФ приняло решение продолжить субсидирование приобретения газомоторного транспорта. На эти цели выделены бюджетные ассигнования в размере 3 млрд рублей. В 2014 году регионы успели закупить 984 транспортных средства из запланированных 1858 единиц. План приобретения на 2015 год (с учетом бюджета 2014 года) составляет 2074 единицы. По условиям субсидирования регионы могут закупить только технику, произведенную в России.



Директор НП «КАМАЗ-Автоспорт» Владимир Чагин (слева) и Алексей Миллер

Газовый стимул

С учетом правительственных целевых показателей по переводу транспорта на газ, программы субсидирования закупки техники, а также интереса потребителей к более экономичному моторному топливу газомоторный транспорт и техника гарантированно будут востребованы. Таким образом, государственный курс по внедрению природного газа на транспорте является безусловным стимулом для развития российской автомобильной отрасли.

ОАО «Газпром», как крупнейшая российская компания, добывающая, транспортирующая и реализующая природный газ, ведет последовательную работу по развитию рынка газомоторного топлива. Создана специализированная компания «Газпром газомоторное топливо», которая развивает газозаправочную инфраструктуру, налаживает взаимодействие между всеми заинтересованными сторонами – федеральными и региональными органами власти, производителями газомоторной техники, муниципальными и коммерческими автоперевозчиками, сельхозпроизводителями.

В целях увеличения ассортимента газомоторной техники компанией заключены соглашения о сотрудничестве с 24 автопроизводителями и достигнуты договоренности о включении в ассортимент выпускаемой техники моделей, работающих на природном газе. В результате совместных усилий объем продаж газовой техники в России за последние три года вырос почти в четыре раза. Если в 2012 году продано 559 газомоторных транспортных средств (в том числе 536 – отечественного производства), то в 2014 году уже 2170 единиц техники (в том числе 2045 – отечественного производства).

Перспективные сегменты

На данном этапе развития рынка газомоторного топлива наибольшим спросом пользуется пассажирский и грузовой транспорт, коммунальная техника. Лидерами в этих сегментах являются завод «КАМАЗ» и Группа «ГАЗ», а также специализированная компания «Волгабас».

Потенциалом для расширения применения природного газа обладает и сельскохозяйственная техника. Пяту часть расходов аграрных предприятий составляют топливные затраты. Перевод техники на природный газ позволяет оптимизировать расходы сельхозпредприятий и повысить их рентабельность. По прогнозам Газпрома, потребление КПП в аграрном секторе к 2020 году может составить 380 млн м³ в год, а сжиженного природного газа (СПГ) – 32 тыс. т в год.

Сегодня на российском рынке представлено порядка пяти моделей тракторов отечественного производства, использующих КПП в качестве моторного топлива, а также работающих в газодизельном цикле. С целью расширения линейки газомоторной сельскохозяйственной техники «Газпром газомоторное топливо» организовало взаимодействие с крупнейшими предприятиями России и Белоруссии: концерном «Тракторные заводы», Кировским заводом, Минским тракторным заводом, Минским моторным заводом. Продукция концерна «Тракторные заводы» реализуется под маркой «АГРОМАШ». Модельный ряд тракторов в газобаллонном исполнении представлен четырьмя видами техники: АГРОМАШ 30ТК, АГРОМАШ 50ТК, АГРОМАШ 60ТК, АГРОМАШ 85ТК.

Минским тракторным заводом изготовлен трактор «Беларус-92П» с газодизельным двигателем ГД-243-1321, который на данный момент проходит обкатку и первичную техническую экспертизу. После завершения испытаний модель будет доступна для заказа. При наличии спроса предприятие готово расширить линейку газодизельных тракторов восемью моделями (малогобаритные, универсально-пропашные, общего назначения) с газодизельными двигателями производства ОАО «Минский моторный завод».

Перспективным направлением развития производства газомоторного транспорта является выпуск техники на СПГ, который оптимален для магистрального автотранспорта, тяжелой карьерной и сельскохозяйственной техники. Совместно с ОАО «Кировский завод» и концерном «Тракторные заводы» прорабатывается проект создания тракторной техники на СПГ. Обсуждается также вопрос опытной эксплуатации карьерного самосвала «БЕЛАЗ» на СПГ на одном из промышленных предприятий в Екатеринбурге.

Однако ключевым потребителем СПГ на ближайшую перспективу, по оценкам Газпрома, станет магистральный грузовой транспорт. Для обеспечения его заправки необходимо создать газомоторные коридоры. Для этого «Газпром газомоторное топливо» реализует комплексный подход к развитию газозаправочной инфраструктуры с использованием решений по строительству как АГНКС, так и КриоАЗС.

Первым регионом, где будет применен такой подход, станет Республика Татарстан. В республике ведется проработка проекта строительства комплекса по сжижению природного газа и обширной сети КриоАЗС, которая позволит обеспечить заправку транспортных средств и спецтехники как сжиженным природным газом, так и регазифицированным КПП.

Сегодня компания совместно с ОАО «КАМАЗ» прорабатывает вопрос использования автотехники на сжиженном природном газе на основных потоках поставок концерна (Набережные Челны – Санкт-Петербург, Набережные Челны – Челябинск) и обеспечения данных логистических маршрутов газозаправочной инфраструктурой СПГ.

Конвертация двигателей

Ключевым элементом для серийного производства техники, работающей на природном газе, является адаптация двигателя под газомоторное топливо. С рядом заводов ведется взаимодействие по проектам конвертации дизельных двигателей в газовые и их серийного изготовления. К примеру, Ярославский моторный завод (ОАО «Автодизель») приступил к производству газовых двигателей ЯМЗ-534 CNG и ЯМЗ-536 CNG, созданных при участии канадской компании Westport. Двигатель ЯМЗ-534 предназначен для установки на автомобили МАЗ, Урал, ГАЗ и ГАЗон NEXT на газовом топливе, автобусы ПАЗ, а двигатель ЯМЗ-536 – для установки на автомобили МАЗ, Урал, КрАЗ, а также автобусы ЛиАЗ. Имеется успешный опыт конвертации дизельных двигателей ЯМЗ-236, ЯМЗ-238 и ЯМЗ-240 на природный газ. Автомобили с конвертированными двигателями сегодня успешно эксплуатируются в ООО «Газпром трансгаз Екатеринбург».

Специализированная компания «Газпром газомоторное топливо» проводит обсуждение проекта конвертации дизельных двигателей ЯМЗ в газовые и их серийного производства. Проработка аналогичного проекта ведется с Тутаевским моторным заводом. На заводе «КАМАЗ» разработан собственный газовый двигатель КАМАЗ 820.60-260, который устанавливается на заводские газобаллонные модели.

Законодательный аспект

Для создания долгосрочных и понятных правил функционирования рынка федеральные ведомства совместно с «Газпром газомоторное топливо» ведут системную работу по актуализации правового регулирования отрасли, в том числе нормативно-технических документов, регламентирующих эксплуатацию транспортных средств на природном газе.

Совместно с ВНИИПО МЧС России ведется доработка проекта свода правил «Объекты малотоннажного производства и потребления СПГ. Требования пожарной безопасности». Во взаимодействии с Минэнерго России разработан законопроект, направленный на исключение АГНКС из категории опасных производственных объектов. 13 мая этого года он одобрен в первом чтении в Государственной Думе России. МЧС России и Ростехнадзором утверждены новые нормы и правила пожарной, а также промышленной безопасности для автозаправочных станций, в том числе реализующих природный газ в качестве моторного топлива. Роспотребнадзором утверждены изменения в СанПиН, предусматривающие снижение класса опасности и сокращение размеров санитарно-защитных зон для КриоАЗС и АГНКС. 10 апреля 2015 года Правительством РФ отменено регулирование цены на КПП.

Контроль качества

Важным направлением работы с автопроизводителями является повышение качества и совершенствование выпускаемой продукции. При взаимодействии с дочерними обществами ОАО «Газпром», а также частными лицами и коммерческими структурами, эксплуатирующими газомоторную технику, ведется сбор и анализ информации о качестве поставляемой техники и опыте ее эксплуатации. Созданы рабочие группы для координации работ по переводу транспорта на газомоторное топливо. Ежеквартально между группами проходит обмен информацией о количестве выпущенных автомобилей и планах по вводу в эксплуатацию новых АГНКС.

Такое сотрудничество помогает автопроизводителям видеть потенциальные рынки сбыта и эффективно управлять поставками, а Газпрому гарантирует наличие потребителя в регионах расширения газозаправочной сети.

Специалистами «Газпром газомоторное топливо» разработаны эффективные маркетинговые инструменты по развитию спроса на газобаллонный транспорт. В частности, издан единый Каталог газомоторной техники, доступной сегодня для покупки на территории России. В мае начнет работу онлайн-площадка по реализации газовой техники. Помимо этого, компанией разработаны стимулирующие программы по переоборудованию транспорта на использование сжатого и сжиженного природного газа. К сотрудничеству по программам привлечены действующие сервисные центры.

Комплексный подход, реализуемый компанией, позволит потребителям совершить наиболее комфортный переход к использованию нового для них вида моторного топлива при строгом соблюдении интересов всех участников рынка газомоторного топлива.

Развитие сервиса

С расширением использования газомоторного транспорта все большую актуальность приобретает вопрос его гарантийного и постгарантийного обслуживания.

На сегодняшний день станции технического обслуживания на базе дилерских центров компаний-автопроизводителей с оборудованием, необходимым для обслуживания газомоторного транспорта, присутствуют только в регионах со значительной концентрацией газомоторной техники. Развитие рынка газомоторного топлива требует расширения сети сервисных центров. Этот процесс должен происходить синхронизированно с расширением газозаправочной сети и закупкой транспорта регионами РФ.

Однако единовременное дооснащение сервисных центров оборудованием для обслуживания газомоторного транспорта требует значительных временных и финансовых вложений. В этой связи на первоначальном этапе целесообразным является создание мобильных сервисных служб.

Успешный опыт организации таких служб есть у ОАО «КАМАЗ». Автомобили сервисной службы оснащены необходимым оборудованием, инструментом и запасными частями, позволяющими оперативно на месте устранять возможные неполадки и обеспечивать качественное сервисное обслуживание в удалении от сервисного центра.

Собственный опыт

Помимо основной деятельности по развитию газомоторного рынка, ОАО «Газпром» ведет работу по увеличению собственного автопарка техники, работающей на природном газе. В компании принята Программа по расширению использования природного газа в качестве моторного топлива на транспорте организаций Группы Газпром до 2017 года.

В 2014 году общий объем поступившей в дочерние общества автотехники, работающей на газомоторном топливе, составил 1674 единицы. На сегодняшний день природный газ в качестве моторного топлива используют 6522 единицы грузовой, специальной и пассажирской техники дочерних обществ Группы. В 2015 году ОАО «Газпром» в рамках Программы запланировано приобретение около 3000 газобаллонных автотранспортных средств.

Согласно целевым показателям, к концу 2015 года не менее 30 % транспорта Группы Газпром будет работать на природном газе, а к концу 2017 года – не менее 50 %.

Управление внешних коммуникаций ООО «Газпром газомоторное топливо»

Научно-практический семинар «Развитие газомоторной инфраструктуры: опыт, состояние и перспективы»

Национальная газомоторная ассоциация (НГА) при поддержке ОАО «Газпром» организовала и провела очередной III научно-практический семинар «Развитие газомоторной инфраструктуры: опыт, состояние и перспективы». Соорганизаторами семинара выступили ООО «Газпром газомоторное топливо», ОАО «Газпром газэнергосеть», Газпром ЭП Интернэшнл Б.В., ЗАО «Агентство прямых инвестиций» и E.ON. Цель семинара – придать новый импульс в развитии газомоторного рынка в России.

В работе семинара приняли участие представители Государственной Думы Федерального собрания Российской Федерации, федеральных и региональных органов исполнительной власти РФ, предприятий и организаций Группы Газпром (ООО «Газпром ВНИИГАЗ», ООО «Газпром трансгаз Екатеринбург», ОАО «Газпром трансгаз Беларусь», ЗАО «Газпром нефть», ООО «Газпром трансгаз Махачкала», ООО «Газпром газомоторное топливо», ОАО «Газпром газэнергосеть», «Газпром ЭП Интернэшнл Б.В.», ОАО «Газпром промгаз» и др.), научных и образовательных центров (ФГУП НАМИ, ВНИКТИ, ВНИИПО, МАДИ, «Якутнипроалмаз» и др.), проектных, эксплуатирующих и сервисных организаций газомоторной отрасли. Впервые в работе семинара участвовали коллеги из крымской компании ГУП РК «Крымгазсети» – заместитель директора А.А. Проценко и советник директора И.В. Окуненко.



Президиум семинара

Все это свидетельствует о значимости мероприятия, ставшего уже традиционным.

Участников семинара приветствовали первый заместитель председателя комитета Государственной Думы по регламенту и организации работы Н.В. Герасимова, заместитель директора департамента переработки нефти и газа Министерства энергетики Российской Федерации М.А. Лобанов, заместитель министра энергетики Московской области Д.А. Айрапетянц. Вел семинар директор Центра использования газа ООО «Газпром ВНИИГАЗ», исполнительный директор НГА, к.т.н. С.В. Люгай.

Традиционно на семинаре состоялось вручение свидетельств новым членам Национальной газомоторной ассоциации.

Выступая на семинаре, первый заместитель председателя комитета Государственной Думы по регламенту и организации работы Н.В. Герасимова отметила особую актуальность темы, предложенной для обсуждения, и необходимость дальнейшей консолидации действий федеральных, региональных, местных органов государственной власти и производственных структур.

Участникам семинара поступили приветствия от председателя Комитета по энергетике Государственной Думы РФ П.Н. Завального и Министерства транспорта РФ, где также отмечались важность тематики семинара и необходимость объединения усилий всех заинтересованных в развитии газомоторного рынка его участников. Эта тема пройдет красной нитью в выступлениях на семинаре, что говорит о правильном понимании проблем, стоящих перед отраслью, и видении путей их решения.

Одним из ключевых докладов семинара стало выступление генерального директора компании «Газпром газомоторное топливо» М.В. Лихачева, рассказавшего о стратегии развития рынка газомоторного топлива в России. Он отметил, что первоочередная задача, которая стоит перед возглавляемой им компанией, – обеспечить регионы России современной инфраструктурой для заправки транспорта природным газом. Для чего специалистами компании проведена оценка потенциальной емкости региональных рынков. На основании полученных данных определены приоритетные регионы работы, разработана Концепция развития газомоторного бизнеса. Документ закрепляет целевые показатели использования КПП и СПГ в качестве моторного топлива и перспективные сегменты его применения.



В президиуме семинара Н.В. Герасимова, М.В. Лихачев и С.В. Люгай



Участники семинара из Республики Корея генеральный директор компании UNIDOM Co, Ltd Сон Дэ Хён и директор по развитию бизнеса Евгения Цхай

димирович. С этой целью организовано взаимодействие с отечественными предприятиями по вопросам импортозамещения и локализации производства основного технологического оборудования инфраструктурных объектов, запланировано создание опытных СПГ-производств. Ведется сотрудничество с отечественными автопроизводителями по расширению ассортимента газомоторного транспорта и техники.

Системный подход к планированию федеральной газозаправочной сети, наработка компетенций в области производства и использования СПГ/КПГ – ключевые слагаемые развития рынка газомоторного топлива.

Компания рассматривает создание технологической цепочки «производство – транспортировка – потребление» в комплексе. Поэтому для развития инфраструктуры КПГ/СПГ применяется региональный принцип. Согласно ему, необходимость создания инфраструктуры в том или ином субъекте РФ оценивается не в разрезе отдельных объектов инвестирования, а на региональном уровне. При планировании размещения объектов важными факторами выступают существующие и перспективные транспортные коридоры, потенциал смежных областей. В перспективе инфраструктура производства и реализации газомоторного топлива составит единую федеральную сеть.

Использование природного газа в качестве моторного топлива – это новое направление энергетики, требующее наращивания научно-исследовательских компетенций, подчеркнул Михаил Вла-



В кулуарах семинара

Эту тему продолжила первый заместитель генерального директора по внешне-экономической деятельности ООО «Газпром газомоторное топливо» И.П. Иванова, сделав акцент на создании инфраструктуры СПГ в странах Евразийского экономического союза (ЕАЭС), поскольку развитие перевозок транспортом на природном газе особенно перспективно на трансграничных транспортных коридорах между странами ЕАЭС.

О потенциале производства и использования СПГ для развития газозаправочной инфраструктуры в Уральском регионе рассказал заместитель начальника Управления «Уралавтогаз», филиала ООО «Газпром трансгаз Екатеринбург» П.В. Кузнецов.



А.Ю. Ахметшин («Удмуртавтотранс»)

К сожалению, в нашей стране перевод на природный газ парка автотранспортных предприятий идет недостаточно высокими темпами, что связано с объективными причинами. Тем ценнее опыт ОАО «Удмуртавтотранс». На каждом семинаре генеральный директор компании, член совета Национальной газомоторной ассоциации А.Ю. Ахметшин рассказывает о ходе перевода автотранспорта на природный газ и какие при этом возникают трудности. Коллектив предприятия не в теории, а на практике столкнулся со всеми теми проблемами, через которые приходится проходить энтузиастам, внедряющим природный газ в качестве газомоторного топлива. Конечно, выступления Альберта Юнусовича всегда вызывают неподдельный интерес у слушателей.

Если в «Удмуртавтотрансе» перевод на газ пассажирского транспорта идет со значительными успехами, то в ОАО «АК «Алроса» подобный проект реализуется с определенными трудностями. О причинах этого рассказал И.В. Зырянов, заместитель директора по научной работе института «Якутнипроалмаз», руководитель



Участники семинара

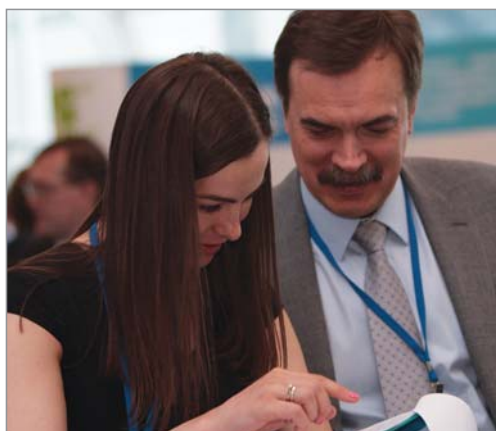
проекта «Внедрение программы мероприятий по переводу автомобилей и ДЭС» в ОАО «АК «Алроса». Он назвал следующие причины, препятствующие масштабному переводу на газомоторное топливо автотранспорта предприятия:

- отсутствие серийных газовых двигателей мощностью более 309 кВт;
- необходимость приведения зданий и сооружений в соответствие с действующими требованиями пожарной безопасности при эксплуатации автотранспорта на природном газе;
- отсутствие нормативной базы по проектированию газовой инфраструктуры в пределах горного отвода.

Как всегда большой интерес вызывают вопросы правового регулирования в области газомоторного бизнеса. И на этот раз выступление руководителя испытательной лаборатории ООО «ТЭДЭК» П.Г. Вишнякова было воспринято с большим вниманием. Доклад был посвящен роли и месту технического регламента Таможенного Союза «О безопасности оборудования, работающего под избыточным давлением» ТР ТС 032/2013 в современной системе нормативно-технической документации.

Об условиях привлечения частных инвесторов для развития газомоторной инфраструктуры рассказал Н.К. Симонян, генеральный директор ЗАО «Агентство Прямых Инвестиций». В числе базовых вариантов привлечения внешнего финансирования крупнейшими операторами газомоторного рынка он назвал различные формы долгового финансирования и частные инвестиции. Однако на текущем этапе развития газомоторного бизнеса в РФ привлечение долгового финансирования участниками рынка в значительной степени затруднено. Поэтому крупнейшим игрокам целесообразно ориентироваться на средства частных инвесторов в качестве источника финансирования реализуемых ими проектов. Привлечение средств частных инвесторов в производственную и сбытовую газомоторную инфраструктуру позволит значительно ускорить темпы развития отрасли, расширить возможности и повысить эффективность операторов газомоторного рынка.

Очень ценным может оказаться опыт по развитию газозаправочной и газоиспользующей инфраструктуры в странах ближнего зарубежья. О такой практической деятельности в Республике Беларусь рассказал Д.М. Аннюк, заместитель генерального директора ОАО «Газпром трансгаз Беларусь», член совета Национальной газомоторной ассоциации.



Координатор семинара Ю.Н. Дрыгина (НГА – ООО «Газпром ВНИИГАЗ») и заместитель директора филиала Gazprom International В.А. Камбаров

Активизация использования газомоторного топлива на белорусском рынке началась после подписания правительством Республики Беларусь и ОАО «Газпром» Протокола о намерениях. С момента подписания Протокола были сделаны значительные шаги: организовано серийное производство городского низкопольного автобуса МАЗ-203965, на стадии испытаний находятся грузовой автомобиль-фургон и мусоровоз, выполненный на базе шасси МАЗ-5340, а также газодизельный трактор МТЗ «Беларус-92П» Минского тракторного завода, разрабатываются отечественные двигатели. В Минске реализуется пилотный проект по эксплуатации 10 газовых автобусов



Участники семинара М.А. Лобанов (зам. начальника департамента Минэнерго РФ), П.Г. Вишняков (ООО «ТЭДЭКС») и Б.М. Фролов (ОАО «ВНИКТИ»)

на пригородных маршрутах города. В планах у ОАО «Газпром трансгаз Беларусь» – дальнейшее расширение газозаправочной инфраструктуры в период до 2025 г.

Генеральный директор ЗАО «Газпромнефть – Альтернативное топливо» Д.А. Колодяжный рассказал о развитии рынка КПП в регионах присутствия компании. Как подчеркнул Дмитрий Анатольевич, компания не стоит на обочине развития рынка ГМТ.

«Создание и опыт эксплуатации локомотивов, работающих на сжиженном природном газе» – тема доклада заместителя главного инженера ОАО «ВНИКТИ» Б.М. Фролова. В частности он рассказал о том, что энергетической стратегией ОАО «РЖД» предусмотрено три варианта возможного замещения к 2030 г. дизельного топлива природным газом: 10, 25 и 50 %.

Особенностям проектирования и строительства объектов газомоторной инфраструктуры в Северокавказском регионе было посвящено выступление Р.Р. Магомедова, финансового директора ООО «Газтех». Компания занимается разработкой, проектированием, изготовлением и монтажом оборудования для переработки природного и попутного нефтяного газа в нефтегазовой сфере, а также проектированием, производством и поставкой оборудования АГНКС.

Схожая деятельность и у НПК «ЛенПромАвтоматика», о чем рассказал генеральный директор Д.Б. Цудиков. Однако в настоящее время компания много внимания уделяет вопросам импортозамещения. И в этом плане у нее есть определенный опыт, касающийся новых возможностей и потенциала импортозамещения. Д.Б. Цудиков рассказал также о сдерживающих факторах, которые мешают развитию этого направления.

В особую экономическую зону (ОЭЗ) в аэропорту «Ульяновск-Восточный» пригласил всех участников семинара А.С. Абдуллаев, руководитель отдела по работе с инвесторами ОАО «Портовая особая экономическая зона «Ульяновск». В этой зоне созданы благоприятные условия для развития собственного бизнеса, в частности, для организации газозаправочной и газоиспользующей инфраструктуры. Земельные участки здесь предоставляются по минимальным ценам, вся инфраструктура создается за счет государства и бесплатно для инвесторов. Технологическое подключение к сетям в ОЭЗ предоставляется инвесторам за символическую плату.

Резиденты особой экономической зоны могут рассчитывать на следующие льготы: налог на прибыль снижен с 20 до 2 % на 10 лет; после истечения 10-летнего периода





Выступает эксперт семинара С.П. Горбачев,
гл. научный сотрудник
ООО «Газпром ВНИИГАЗ», д.т.н., профессор



Вопрос от генерального директора
ООО «БАУЭР Компрессоры»
Уве Дитер Гюнтер Нойманна

налог на прибыль устанавливается на уровне 15,5 % на все время существования ОЭЗ; налог на имущество обнуляется сроком на 15 лет; налог на землю и транспортный налог обнуляются сроком на 10 лет. Резиденты ОЭЗ могут выбрать политику неприменения НДС на оказываемые услуги (выполняемые работы).

На территории ОЭЗ действует процедура свободной таможенной зоны. Товары иностранного производства ввозятся в ОЭЗ без уплаты таможенных пошлин, НДС и акцизов. Товары ЕАЭС могут ввозиться в ОЭЗ с нулевой ставкой НДС.

По итогам семинара состоялся обмен мнениями, докладчики ответили на вопросы участников мероприятия. Так, генеральному директору ООО «Газпром газомоторное топливо» М.В. Лихачеву поступил вопрос от исполнительного директора ООО «Метан Моторс» В.Цивиса о франшизе по использованию бренда ООО «Газпром газомоторное топливо». На что Михаил Владимирович ответил, что это возможно при выполнении всех условий, которые его компания предъявляет к пользователю франшизы.

Генеральный директор ООО «РариТэк» Р.Р. Батыршин поделился с заместителем директора по научной работе института «Якутнипроалмаз» И.В. Зыряновым (рассказывал о проблемах перевода автотранспорта на газомоторное топливо) опытом работы по соблюдению пожарной безопасности при организации помещений для взрывоопасных объектов и пригласил коллегу посмотреть, как решены у них подобные проблемы.

Обмен мнениями носил конструктивный характер, иногда коллеги позволяли себе шутить. Например, любопытный диалог состоялся между генеральным директором НПК «ЛенПромАвтоматика» Д.Б. Цудиковым и генеральным директором ООО «БАУЭР Компрессоры» Уве Дитер Гюнтер Нойманном. «От чего будете «откусывать», – поинтересовался коллега из Германии, имея в виду импортозамещение. Дмитрий Борисович не растерялся и представил подробный ответ по пунктам импортозамещения, проиллюстрировав его соответствующим видеоматериалом.

Итоги семинара дают основания полагать, что подобные мероприятия являются важной составляющей в деле развития газомоторного рынка России.

Численное моделирование теплового состояния металлокомпозитного автомобильного баллона при заполнении метаном

С.Ю. Белоусова, ведущий инженер ЗАО НПП «Маштест»,
В.С. Зарубин, профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана, д.т.н.,
Я.Г. Осадчий, генеральный директор ЗАО НПП «Маштест», д.т.н.

Статья является продолжением работ [1, 2].

Разработана математическая модель теплового состояния типовых автомобильных баллонов, которая использована при численном моделировании изменения температуры и давления при заполнении метаном металлокомпозитного баллона. Этот процесс сопровождается неравномерным нагревом основных силовых элементов конструкции, что влияет на их механическое взаимодействие и может сократить эксплуатационный ресурс баллона. Рассмотрен металлокомпозитный баллон с несущим металлическим лейнером, армированным композиционным материалом по наружной поверхности цилиндрической обечайки. При моделировании использован уточненный вариант уравнения состояния метана, наиболее близко коррелирующий с экспериментальными данными. Представлены результаты численного моделирования при различных температурах окружающего воздуха и темпах заполнения, влияющих на конечную массу метана в баллоне при фиксированном конечном давлении. Рассмотрена возможность увеличения конечной массы метана путем охлаждения баллона в паузе между этапами заполнения.

Ключевые слова:

численное моделирование, тепловая модель баллона, уравнение состояния метана, заполнение баллона, теплообмен при естественной конвекции.

Заполнение автомобильных баллонов сжиженным природным газом (СПГ), основу которого составляет метан, сопровождается его нагревом. Это приводит к снижению массы СПГ в баллоне при достижении в процессе заполнения предельного рабочего давления, допустимого эксплуатационными характеристиками баллона. Как следствие, в процессе заполнения металлокомпозитного баллона возникает неравномерное распределение

температуры в основных силовых элементах его конструкции, что влияет на их механическое взаимодействие, которое необходимо учитывать при оценке эксплуатационного ресурса баллона.

Основными параметрами, определяющими температурное состояние металлокомпозитного баллона при его заполнении СПГ, являются следующие: темп заполнения, исходные температура и давление СПГ и температура окружающего воздуха. Количественный анализ

влияния этих параметров на изменение во времени температуры и давления КПП в баллоне и температурного состояния его конструкции можно провести путем численного моделирования, используя ранее разработанный вариант тепловой модели такого баллона [1, 2].

Отличительная особенность указанной тепловой модели баллона с КПП состоит в том, что в ней для метана, составляющего основу КПП, использован уточненный вариант уравнения состояния, наиболее близко коррелирующий с экспериментальными данными [3]. При параметрах состояния, характерных для основных режимов эксплуатации автомобильных баллонов для КПП, метан не подчиняется уравнению Клапейрона – Менделеева [4], описывающему состояние совершенных газов и при фиксированном значении температуры T устанавливающему линейную связь между давлением p газа и его плотностью ρ . Использование уравнения Ван-дер-Ваальса для реальных газов [5, 6], включающего два дополнительных параметра, и рекомендованного в монографии [7] двухпараметрического уравнения Редлиха – Квонга также приводит к значительным вычислительным погрешностям [1]. Помимо достаточно точной аппроксимации уравнения состояния, работа [3] содержит и необходимые для проведения численного моделирования процесса заполнения баллона зависимости энтальпии и теплоемкости метана от параметров его состояния, а также зависимости теплопроводности и вязкости метана, влияющие на интенсивность его теплообмена с внутренней поверхностью лейнера металлокомпозитного баллона.

Математическая модель изменения параметров метана при заполнении баллона

При заполнении баллона метаном его давление $p(t)$ в баллоне в текущий момент времени t при помощи уравнения

состояния можно однозначно представить как функцию текущих значений плотности $p(t)$ метана и его температуры $T(t)$. Плотность метана при фиксированной вместимости V баллона зависит от режима заполнения, определяемого значением $m(t)$ расхода метана в единицу времени. Тогда можно записать

$$\rho(t) = \frac{m(t)}{V} = \rho_0 - \frac{1}{V} \int_0^t \dot{m}(\tau) d\tau \quad (1)$$

с текущим значением массы метана в баллоне

$$m(t) = m_0 + \int_0^t \dot{m}(\tau) d\tau, \quad (2)$$

где ρ_0 и m_0 – соответственно плотность и масса метана в момент времени $t=0$, принимаемый за начальный в процессе заполнения баллона.

Для установления зависимости от времени температуры $T(t)$ метана в баллоне необходимо использовать закон сохранения энергии (первый закон термодинамики [8]) для текущего значения $m(t)$ массы метана в баллоне, что позволяет записать обыкновенное дифференциальное уравнение [1, 9]

$$C \frac{dT}{dt} = Q + (p/\rho)\dot{m} + W_*, \quad (3)$$

где $C = c_v m$ – полная теплоемкость метана, Дж/К; c_v – удельная массовая теплоемкость метана при постоянном объеме (изохорическая теплоемкость, графики зависимости которой от температуры при различных значениях плотности, построенные по данным работы [3], представлены в работе [1]), Дж/(кг·К); Q – тепловой поток, подводимый к метану от внутренней поверхности лейнера металлокомпозитного баллона, Вт; W_* – тепловая мощность, поступающая в баллон по мере его заполнения метаном.

$$W_* = \dot{m}(H(p^*, T^*) - H(p, T)), \quad (4)$$

где $H(p^*, T^*)$ и $H(p, T)$ – энтальпия единицы массы метана, зависящая соответственно от давления p^* и температуры T^* газа перед его поступлением в баллон и от

текущих значений давления p и температуры T в баллоне.

В случае заполнения баллона на АГНКС p^* и T^* – давление и температура в контрольно-измерительном участке [10, 11]. Графики зависимости энтальпии от давления при различных значениях температуры, построенные по данным работы [3], также приведены в работе [1]. Зависимость давления p метана в баллоне от температуры T при известных значениях плотности ρ аппроксимирована по экспериментальным данным с погрешностью не более 0,1 % в работе [3].

Тепловая модель металлокомпозитного баллона

Численное моделирование изменения температуры и давления метана в баллоне и нагрева его конструкции проведено применительно к процессу заполнения металлокомпозитного баллона достаточно распространенного конструктивного типа. Рассмотрен баллон вместимостью 51 л ($0,051 \text{ м}^3$) с несущим металлическим лейнером, армированным композиционным материалом лишь по наружной поверхности цилиндрической обечайки. Осевое сечение баллона представлено на рис. 1 [2].

При построении тепловой модели заполняемого метаном металлокомпозитного баллона можно выделить несколько последовательных этапов [2]. Первый этап состоит в условном разделении конструкции баллона на отдельные элементы и вычислении полных теплоемкостей этих элементов. В конструкции рассматриваемого баллона целесообразно выделить в качестве сосредоточенных теплоемких масс обечайку и днища лейнера, а также армирующий слой на обечайке лейнера. Кроме того, в тепловой модели необходимо учесть в виде изменяющейся во времени сосредоточенной теплоемкой массы находящийся в баллоне метан.

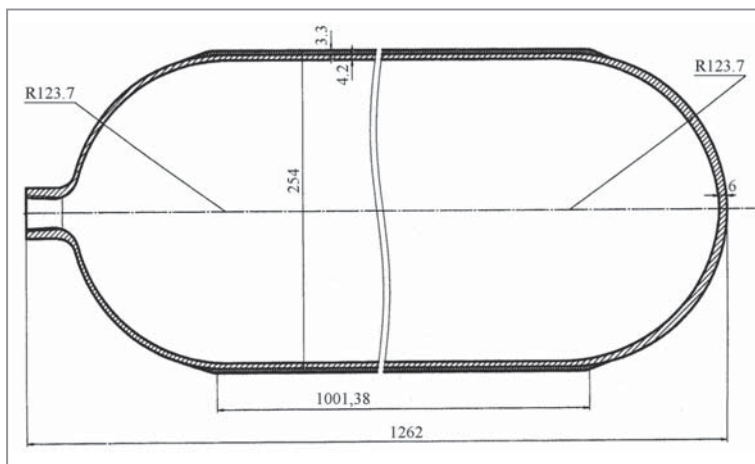


Рис. 1. Осевое сечение металлокомпозитного баллона

Каждой теплоемкой массе на расчетной схеме модели (рис. 2) [2] соответствует светлый кружок, около которого указано обозначение полной теплоемкости выделенного элемента и его температуры: C и T соответствуют метану, C_1 и T_1 – обечайке лейнера, C_2 , T_2 и C_3 , T_3 – соответственно левому (со штуцером) и правому днищам лейнера, C'_1 и T'_1 – армирующему слою на обечайке лейнера. В C_2 необходимо включить полную теплоемкость штуцера с наконечником трубопровода. Следует иметь в виду, что полная теплоемкость метана $C = c_v t$ зависит от его температуры и плотности [1, 3] и может существенно изменяться в процессе заполнения баллона в силу изменения массы m метана, определяемой соотношением (2).

На втором этапе построения модели следует вычислить термические сопротивления, связывающие между собой сосредоточенные теплоемкие массы и обозначенные на рис. 2 литерой R . Для тонкостенного металлического лейнера, выполненного из достаточно теплопроводной стали 30ХМА, допустимо пренебречь изменением температуры по его толщине. Поэтому температуры T_1 , T_2 и T_3 соответствующих сосредоточенных теплоемких масс можно считать совпадающими со средними



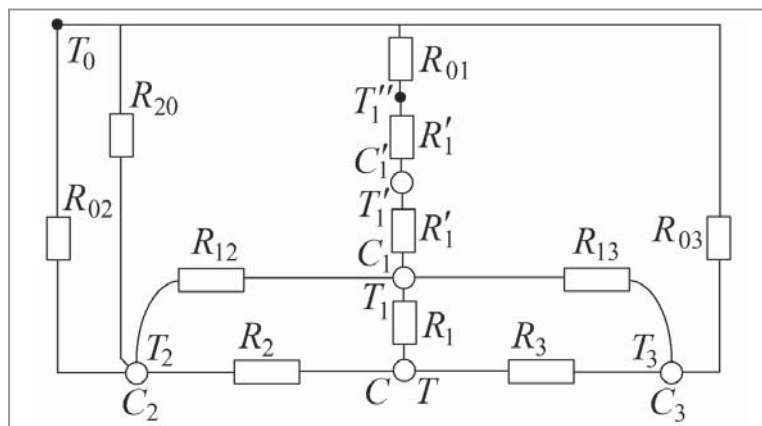


Рис. 2. Расчетная схема тепловой модели металлокомпозитного баллона

температурами внутренней и наружной поверхностей обечайки лейнера и его дна. Тогда значения термических сопротивлений R_1 , R_2 и R_3 будут зависеть лишь от интенсивности теплообмена метана соответственно с обечайкой лейнера и его левым и правым днищами.

Теплообмен в замкнутом объеме баллона происходит по механизму естественной конвекции [12, 13], и на его интенсивность влияют разность температур метана и поверхности теплообмена, давление метана и его теплофизические характеристики. Количественно интенсивность конвективного теплообмена характеризует его коэффициент α , входящий в критериальные зависимости, полученные обработкой экспериментальных данных. Методика определения значения α при теплообмене метана в полости баллона подробно рассмотрена в работе [2].

Термические сопротивления R_{01} , R_{02} и R_{03} связывают наружные поверхности армирующего слоя и днищ лейнера с окружающим воздухом, имеющим заданную температуру T_0 (см. рис. 2), которая в общем случае может изменяться во времени. Значения этих сопротивлений зависят от интенсивности теплообмена на указанных поверхностях, на которую оказывают влияние температуры этих поверхностей (на рис. 2 это температуры T''_1 , T_2 и T_3). Термическое

сопротивление R_{20} связывает штуцер в левом днище непосредственно с окружающим воздухом через подведенный к баллону трубопровод. Этот трубопровод в тепловом отношении можно представить как достаточно длинный тонкий стержень, температура торца которого совпадает с температурой T_2 штуцера в левом днище. На наружной поверхности трубопровода происходит конвективный теплообмен с окружающим воздухом с заданной температурой T_0 , а на его внутренней поверхности – конвективный теплообмен с метаном. Оценки значения R_{20} показывают [2], что оно на два порядка превышает значение термического сопротивления R_{02} и его влиянием можно пренебречь.

Значения остальных термических сопротивлений зависят от геометрических размеров элементов конструкции баллона и коэффициентов теплопроводности материала этих элементов. Например,

$$R'_1 = (h'_1 / \lambda'_1) / (2\pi(D + h'_1)L) \quad [1],$$

где h'_1 – толщина армирующего слоя на наружной поверхности обечайки; λ'_1 – коэффициент теплопроводности армирующего материала; D и L – наружный диаметр обечайки лейнера и ее длина соответственно.

На третьем заключительном этапе построения тепловой модели баллона следует составить уравнения теплового баланса для всех выделенных сосредоточенных теплоемких масс. Эти уравнения образуют систему из пяти обыкновенных дифференциальных уравнений, принимающую с учетом уравнения (3) и равенства (4) следующий вид:

$$\left. \begin{aligned} C \frac{dT}{dt} &= \frac{T_1 - T}{R_1} + \frac{T_2 - T}{R_2} + \frac{T_3 - T}{R_3} + \left(\frac{P}{\rho} + H(p^*, T^*) - H(p, T) \right) \dot{m}, \\ C_1 \frac{dT_1}{dt} &= \frac{T - T_1}{R_1} + \frac{T'_1 - T_1}{R'_1} + \frac{T_2 - T_1}{R_{12}} + \frac{T_3 - T_1}{R_{13}}, \\ C'_1 \frac{dT'_1}{dt} &= \frac{T_1 - T'_1}{R'_1} + \frac{T_0 - T'_1}{R'_1 + R_{01}}, \\ C_2 \frac{dT_2}{dt} &= \frac{T - T_2}{R_2} + \frac{T_1 - T_2}{R_{12}} + \frac{T_0 - T_2}{R_{02}}, \\ C_3 \frac{dT_3}{dt} &= \frac{T - T_3}{R_3} + \frac{T_1 - T_3}{R_{13}} + \frac{T_0 - T_3}{R_{03}}. \end{aligned} \right\} (5)$$

Для однозначного решения этой системы необходимо в момент времени $t=0$, принимаемый за нуль отсчета, задать начальные значения температур всех пяти сосредоточенных теплоемких масс. Текущее значение температуры наружной поверхности армирующего слоя на обечайке лейнера зависит от текущих значений T_0 и T_1' и равно

$$T_1'' = (T_0 R_1' + T_1' R_{01}) / (R_1' + R_{01}). \quad (6)$$

Результаты численного моделирования

Для рассматриваемой конструкции баллона при проведении численного моделирования были приняты следующие значения теплофизических характеристик конструкционных материалов: плотность, удельная массовая теплоемкость и коэффициент теплопроводности стали 30ХМА [13, 14] и армирующего стеклопластика соответственно 7820 кг/м^3 , $461 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$, $48 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ и 1258 кг/м^3 , $1200 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$, $0,43 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$. Масса конструкции баллона, соответствующей рис. 1, равна $33,9 \text{ кг}$, а масса штуцера из стали с удельной массовой теплоемкостью $503 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$ составляет $0,26 \text{ кг}$.

Результаты моделирования получены путем численного решения системы (5) обыкновенных дифференциальных уравнений с учетом информации о теплофизических характеристиках метана и его уравнения состояния [1-3]. Давление метана в контрольно-измерительном участке принято для определенности равным $p^* = 20,692 \text{ МПа}$ [10], что соответствует абсолютному давлению. Заполнение баллона происходит до давления 20 МПа .

Согласно [10], полное время заполнения баллона, включающее продолжительность подъезда и отъезда автомобиля, подсоединения и отсоединения запорочного шланга и непосредственно самого заполнения, не должно превышать 10 мин . На рис. 3 представлены результаты численного моделирования при предельном времени заполнения баллона

10 мин (600 с) и температуре метана $T^* = 293 \text{ К}$ в контрольно-измерительном участке, совпадающей с температурой T_0 окружающего воздуха и температурой баллона перед началом его заполнения. Принято, что перед заполнением в баллоне находится 1 кг метана. При указанной начальной температуре и вместимости баллона 51 л это соответствует начальному абсолютному давлению $p_0 = 2,827 \text{ МПа}$.

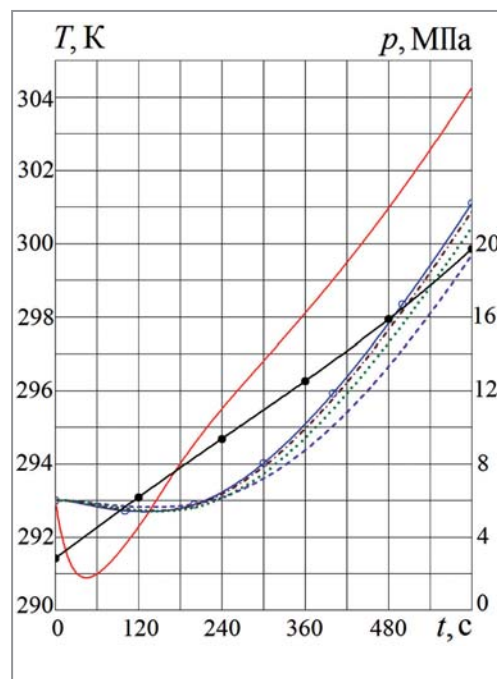


Рис. 3. Результаты численного моделирования заполнения баллона метаном за время 10 мин при $T^* = T_0 = 293 \text{ К}$:

графики изменения во времени t абсолютного давления p и температуры T метана в баллоне при его заполнении представлены соответственно кривой с темными кружками и сплошной кривой без символов; зависимости от времени температуры T_1 обечайки лейнера соответствует сплошная кривая со светлыми кружками, температуры T_2 днища со штуцером – штриховая линия, температуры T_3 противоположного днища – штрихпунктирная линия, температуры T''_1 наружной поверхности армирующего слоя на обечайке лейнера, определяемой формулой (6), – пунктирная линия

При выбранных исходных данных в первый период заполнения из-за значительного начального перепада $p^* - p_0$ давления существенно проявление положительного эффекта Джоуля – Томсона [5], приводящее в данном случае к понижению температуры метана примерно на 2 К. Однако затем по мере уменьшения разности $p^* - p_0$ температура метана начинает возрастать за счет теплоты, выделяемой при его сжатии. К моменту завершения заполнения баллона температура метана немного превышает значение 304 К, а температуры обечайки лейнера и правого днища примерно равны 301 К. Левое днище со штуцером благодаря большей полной теплоемкости в тепловом отношении более инерционно. Для рассматриваемого баллона толщина армирующего слоя стеклопластика и его термическое сопротивление сравнительно малы. Поэтому отличие температуры наружной поверхности этого слоя от температуры обечайки лейнера мало в течение всего процесса

заполнения баллона. После заполнения баллона суммарная масса метана составила 7,622 кг.

На рис. 4 при тех же исходных данных и обозначениях кривых (см. рис. 3) приведены результаты численного моделирования процесса заполнения баллона за время 5 мин (300 с). Более высокий темп заполнения вызвал несколько большее понижение температуры метана в начальный период и большее ее отличие от температуры основных конструктивных элементов баллона на завершающей стадии заполнения. Вместе с тем благодаря теплопередаче через днища к окружающему воздуху конечная температура метана возросла по сравнению с предыдущим вариантом расчета лишь на 1 К и составила 305,34 К, что привело к снижению суммарной массы метана в баллоне до 7,570 кг.

В таблицах для определения количества заправляемого в баллоны КПП предусмотрено различие значений температур T^* и T_0 при давлении p_0 перед заполнением от 0,2 до 12 МПа [10]. Для сравнения результатов моделирования с данными фрагмента одной из таких таблиц примем $T^* = 293$ К, $T_0 = 258$ К и $p_0 = 5,198$ МПа, что соответствует указанному в этом фрагменте избыточному давлению 5,2 МПа, которому отвечает при температуре T_0 начальная масса метана в баллоне, равная 2,329 кг. Из представленных на рис. 5 результатов численного моделирования в прежних обозначениях (см. рис. 3) видно, что изменение температуры метана во времени происходит монотонно, то есть влияние эффекта Джоуля – Томсона в данном случае оказалось недостаточным для того, чтобы понизить температуру КПП в первый период заполнения баллона. Благодаря более низкой конечной температуре метана его суммарная масса в баллоне после завершения процесса заполнения составила 8,597 кг, что более чем на 1 кг больше предыдущего случая. В упомянутом выше фрагменте таблицы

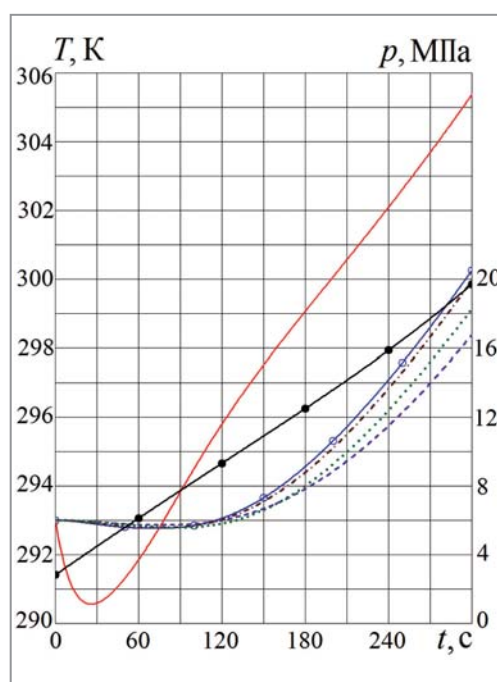


Рис. 4. Результаты численного моделирования заполнения баллона метаном в течение 5 мин при $T^* = T_0 = 293$ К

указано, что для рассматриваемых условий заполнения в баллон вместимостью 200 л будет добавлено 32 нм³ КПП. Если считать, что заправляемое количество газа пропорционально вместимости баллона, то в баллон вместимостью 51 л будет добавлено 8,16 нм³, или 5,849 кг газа, тогда как численное моделирование дает несколько большее значение, равное 6,268 кг.

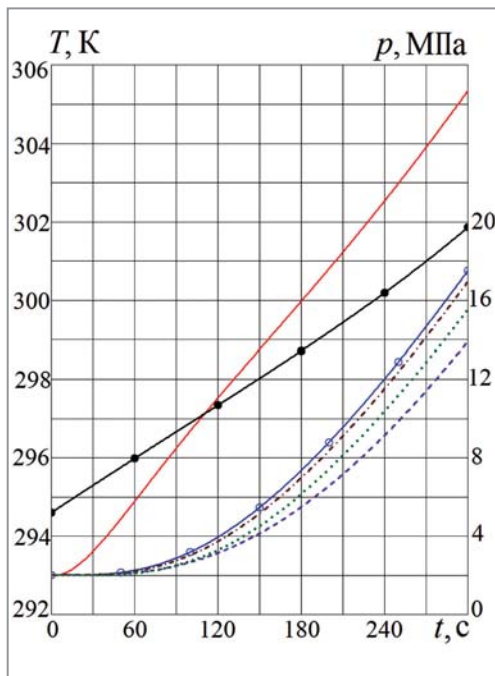


Рис. 5. Результаты численного моделирования заполнения баллона метаном за время 5 мин при $T^*=293$ К и $T_0=258$ К

Следует отметить, что в упомянутых таблицах количество заправляемого КПП в нормальных кубометрах указано для некоторых интервалов значений температур T^* и T_0 . Например, при $p^*=20,692$ МПа значение 32 нм³ соответствует интервалам $T^*=289...293$ К и $T_0=258...263$ К [10]. Поэтому целесообразно оценить чувствительность результатов численного моделирования к изменению значений T^* и T_0 в пределах этих интервалов. При сочетании значений $T^*=293$ К и $T_0=263$ К суммарная масса метана в баллоне равна 8,430 кг,

то есть несколько ниже, чем в предыдущем случае, поскольку температуре $T_0=263$ К соответствует меньшее начальное значение 2,257 кг массы метана и более высокая его конечная температура 288,66 К. При сочетании значений $T^*=289$ К и $T_0=263$ К суммарная масса метана в баллоне возросла до 8,578 кг за счет снижения конечной температуры до 286,27 К. Наконец, при $T^*=289$ К и $T_0=258$ К конечная температура метана составила 283,59 К, а его суммарная масса – 8,742 кг.

Если сопоставить полученные результаты при изменении температур T^* и T_0 в пределах указанных интервалов, то можно сделать вывод, что эти изменения вызывают адекватную реакцию используемой при численном моделировании тепловой модели рассматриваемого баллона. Однако относительный разброс полученных значений конечной температуры метана и его суммарной массы в баллоне сопоставим с той погрешностью, которая характерна для количественного описания процессов теплообмена и теплофизических характеристик материалов.

Упомянутый выше фрагмент таблицы включает значения заправляемого количества КПП при $T_0=258...263$ К и крайних интервалах $T^*=248...253$ К и $T^*=314...318$ К изменения температуры КПП в контрольно-измерительном участке. Используем эти значения для сравнения с результатами численного моделирования.

На рис. 6 в прежних обозначениях (см. рис. 3) представлены результаты расчетов при $T^*=248$ К, $T_0=258$ К и $p_0=5,198$ МПа, что соответствует начальной массе $m_0 = 2,329$ кг метана в баллоне. В данном случае в первый период заполнения баллона влияние эффекта Джоуля – Томсона и условия $T^* < T_0$ вызывает столь существенное снижение температуры метана в баллоне, что и в конце процесса заполнения она на 4 К остается ниже уровня T_0 .

Это приводит к тому, что суммарная масса КПП в баллоне достигает 10,978 кг, то есть при заполнении баллона в него поступает 8,649 кг метана. Для рассмотренных условий заполнения в упомянутом фрагменте таблицы указано заправляемое в баллон вместимостью 200 л количество КПП, равное 44 нм³, которое в пересчете на вместимость в 51 л рассматриваемого баллона соответствует заправляемой массе 8,042 кг.

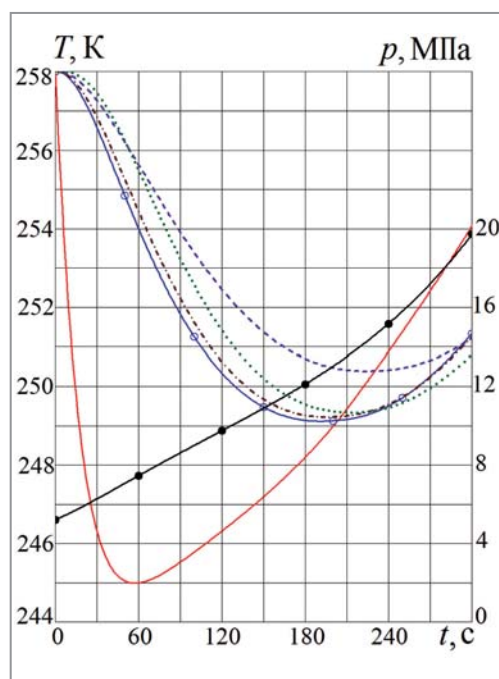


Рис. 6. Результаты численного моделирования заполнения баллона метаном в течение 5 мин при $T^*=248$ К и $T_0=258$ К

Результаты расчетов при $T^*=318$ К и остальных неизменных исходных данных приведены на рис. 7. При монотонном возрастании температура метана к концу процесса заполнения достигает значения 299,11 К. При этом суммарная масса метана в баллоне составляет 7,871 кг, то есть заправленная масса метана равна 5,542 кг. При этих условиях заполнения, согласно фрагменту таблицы, баллон вместимостью 200 л содержит 27 нм³ заправляемого КПП, что в пересчете на вместимость в

51 л соответствует заправляемой массе 4,935 кг.

Таким образом, при пересчете данных фрагмента таблицы [10], составленной применительно к баллону вместимостью 200 л, для сопоставления с результатами численного моделирования заполнения баллона вместимостью 51 л установлено, что для всех рассмотренных вариантов условий заполнения расчетная заправляемая масса метана превышает массу, которая соответствует табличным данным. При фиксированной температуре T_0 окружающего воздуха это превышение возрастает по мере приближения температуры T^* метана в контрольно-измерительном участке к нижней и верхней границам значений, указанных в этом фрагменте таблицы.

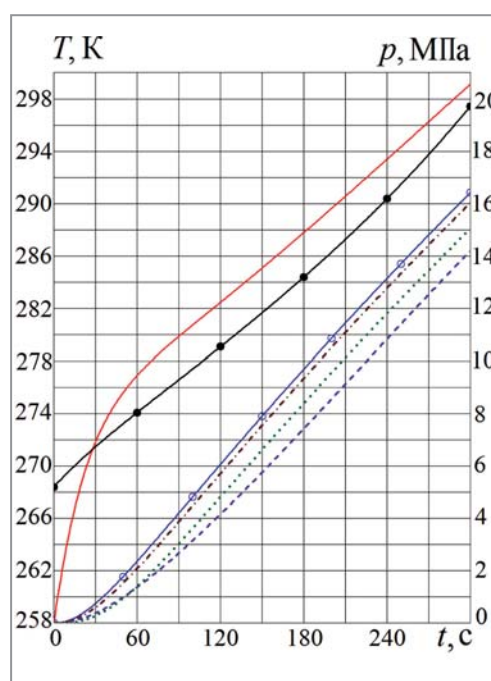


Рис. 7. Результаты численного моделирования заполнения баллона метаном за время 5 мин при $T^*=318$ К и $T_0=258$ К

При $T^* > T_0$ и существенном различии значений этих температур (как, например, было принято в последнем варианте условий заполнения баллона, предусмотренном фрагментом таблицы

[10]) разработанная тепловая модель позволяет оценить целесообразность двухэтапного процесса заполнения с промежуточной паузой (если это может быть допустимо правилами, регламентирующими процедуру заправки КПП), в течение которой происходит охлаждение баллона с метаном.

На рис. 8 представлены результаты численного моделирования такого двухэтапного процесса заполнения при $T^*=318$ К, $T_0=258$ К и прежнем начальном давлении $p_0=5,198$ МПа метана в баллоне. На первом этапе за 3 мин (180 с) давление p_* и температура метана в баллоне достигают соответственно 19,711 МПа и 301,11 К. Затем в течение 15 мин (900 с) метан в баллон не поступает. За время этой паузы происходит уменьшение температуры метана почти на 12 К и падение его давления примерно на 1,6 МПа. На втором этапе процесса заполнения за 2 мин (120 с) давление метана в баллоне снова достигает значения p_* . При начальной массе метана $m_0=2,329$ кг к концу первого этапа заполнения его масса составляет 7,772 кг, а после второго этапа – 8,206 кг, то есть пауза и второй этап заполнения позволяют добавить в баллон в данном случае лишь 0,434 кг метана.

Ясно, что при увеличении длительности паузы снижение температуры и давления КПП в баллоне будет более существенным, что позволит на втором этапе заполнения добавить в баллон более значительную массу метана. Однако следует иметь в виду, что темп уменьшения температуры и давления метана с увеличением длительности паузы будет падать.

Не затрагивая вопроса о реальности возникновения условий заполнения баллона, соответствующих значениям $T^*=318$ К и $T_0=258$ К, оценим дополнительную массу метана, которую можно добавить в баллон после достаточно длительной паузы при его нахождении вне АГНКС, в течение которой баллон

с КПП примет исходное значение температуры $T_0=258$ К. При этом массе 7,772 кг метана в баллоне будет соответствовать давление 13,801 МПа. Тогда за две минуты заполнения баллона до давления $p_*=19,711$ МПа дополнительная масса КПП составит 1,599 кг, за три минуты заполнения – 1,641 кг, а за пять минут – 1,682 кг. Дальнейшее увеличение времени заполнения приводит к все меньшему возрастанию дополнительной массы метана.

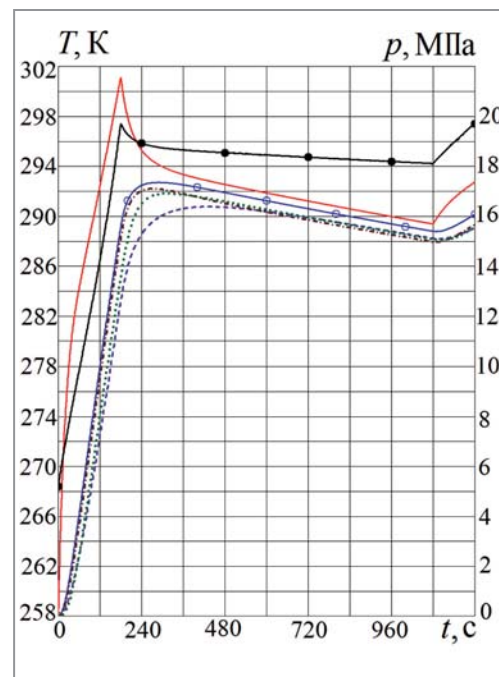


Рис. 8. Результаты численного моделирования двухэтапного заполнения баллона метаном при $T^*=318$ К и $T_0=258$ К

Представленные результаты численного моделирования процесса заполнения металлокомпозитного баллона дают возможность выявить влияние температур окружающего воздуха и метана в контрольно-измерительном участке АГНКС на суммарную массу КПП в баллоне. При моделировании использована ранее разработанная тепловая модель металлокомпозитного баллона, позволяющая учесть основные особенности

его конструкции и условия теплообмена с метаном и окружающим воздухом. Установлено, что для рассмотренных условий заполнения баллона вместимостью 51 л пересчет данных фрагмента таблицы, определяющих количество заправленного КПП [10], дает заниженную примерно на 0,6 кг массу метана (то есть несколько менее одного нормального

кубометра) по сравнению с результатами численного моделирования.

Работа выполнена по гранту НШ-1432.2014.8 программы Президента РФ государственной поддержки ведущих научных школ и в рамках проекта 1712 в сфере научной деятельности в части государственного задания № 2014/104 Минобрнауки РФ.

Литература

1. Белоусова С.Ю., Зарубин В.С., Осадчий Я.Г. Математическая модель тепловых процессов в автомобильных баллонах с метаном // Транспорт на альтернативном топливе. – 2014. – № 4. – С. 5-13.
2. Белоусова С.Ю., Зарубин В.С., Осадчий Я.Г. Численное моделирование теплового состояния металлокомпозитного баллона при расходовании метана // Транспорт на альтернативном топливе. – 2015. – № 1. – С. 12-21.
3. Setzmann U., Wagner W. A new equation of state and tables of thermodynamic properties for methane covering the range from melting line to 625 K at pressures up to 100 MPa // J. Phys. Chem. Ref. Data. – 1991. – V. 20. – № 6. – P. 1061-1155.
4. Физический энциклопедический словарь / Гл. ред. А.М. Прохоров. – М.: Сов. энциклопедия, 1983. – 928 с.
5. Справочник по физико-техническим основам криогеники / Под ред. М.П. Малкова. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 432 с.
6. Физические величины: Справочник / Под ред. И.С. Григорьева, Е.З. Мейлихова. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 1232 с.
7. Альтернативные топлива для двигателей внутреннего сгорания / Под общ. ред. А.А. Александрова, В.А. Маркова. – М.: ООО НИЦ «Инженер», ООО «Онико-М», 2012. – 791 с.
8. Кириллин В.А., Сычев В.В., Шейндлин А.Е. Техническая термодинамика. – М.: Наука, 1979. – 512 с.
9. Зарубин В.С. Математическое моделирование в технике. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. – 496 с.
10. РД 3112194-1095-03. Руководство по организации и эксплуатации газобаллонных автомобилей, работающих на сжатом природном газе. Министерство транспорта РФ. Департамент автомобильного транспорта. ФГУП НИИАТ. 2002. – 59 с.
11. ГОСТ Р 51753-2001. Баллоны высокого давления для сжатого природного газа, используемого в качестве моторного топлива на автомобильных транспортных средствах. Общие технические условия. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2001. – 20 с.
12. Теория теплообмена / Под ред. А.И. Леонтьева. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1997. – 684 с.
13. Основы теплопередачи в авиационной и ракетно-космической технике / Под ред. В.К. Кошкина. – М.: Машиностроение, 1975. – 624 с.
14. Чиркин В.С. Теплофизические свойства материалов ядерной техники: Справочник. – М.: Атомиздат, 1968. – 484 с.
15. Конструкционные материалы: Справочник / Под общ. ред. Б.Н. Арзамасова. – М.: Машиностроение, 1990. – 688 с.

Перспективы развития рынка газомоторного топлива в Республике Саха (Якутия)

А.Н. Соколов, старший научный сотрудник ФГБУН Институт проблем нефти и газа СО РАН, к.э.н.

В статье говорится о необходимости развития рынка КПП и СПГ в Якутии. Анализируется текущее состояние рынка газомоторного топлива в республике. Дается прогноз его развития в умеренном и стратегическом сценариях согласно терминологии энергетической стратегии Республики Саха (Якутия) на период до 2030 г.

Ключевые слова:

Республика Саха (Якутия), газомоторное топливо (ГМТ), метан, энергетическая стратегия.

На территории Республики Саха (Якутия) находятся существенные запасы нефти и газа. В связи с этим естественным является вопрос об организации производства моторного топлива в этом регионе с целью удовлетворения внутреннего спроса и минимизации логистических издержек на доставку топлива. Для этого в Энергетической стратегии Якутии на период до 2030 г. рассматриваются варианты создания нефтеперерабатывающего мини-завода на юго-западе республики и мини-завода GTL (gas to liquids – газ в жидкость) в центральном регионе [1]. К настоящему времени ни один из проектов не был реализован. Главная причина отсутствия результата заключается в неочевидной экономической эффективности организации мини-производств.

К решению вопроса обеспечения республики моторным топливом собственного производства следует подойти с другой стороны. Для условий Якутии в настоящий момент из всех возможных

альтернатив нефтяному топливу наиболее оптимальным является использование метана в качестве моторного топлива по двум основным причинам:

- обеспеченность сырьем;
- относительная дешевизна метана.

Использование метана позволит сократить расходы в различных секторах экономики, включая бюджетные организации.

Однако следует сказать, что использование метана в качестве моторного топлива не нашло отражения в Энергетической стратегии РС(Я). Это объясняется тем, что на момент написания стратегии (2008 г.) направление «КПП и СПГ на автотранспорте» было слабо развито в России в целом. В настоящее время, когда данному вопросу уделяется внимание на всех уровнях, следует внести корректировку в Энергетическую стратегию РС(Я). В частности, целесообразно включить наряду с газификацией населенных пунктов направление «развитие рынка ГМТ».

Текущее состояние рынка газомоторного топлива в республике можно охарактеризовать следующими цифрами. В 2014 г. компанией ОАО «Сахатранснефтегаз» было реализовано около 14 тыс. т СУГ [2]. В перспективе существует возможность увеличить производство данного вида топлива в 1,5-2 раза. Реализацией метана как моторного топлива занимается компания ООО «Сахаметан», которая является пионером в этой области, начав деятельность в 2007 г. с нуля. Всего к концу 2014 г. было реализовано 11 млн м³ КПП, из них 2,7 млн м³ – в 2014 г. (рис. 1).

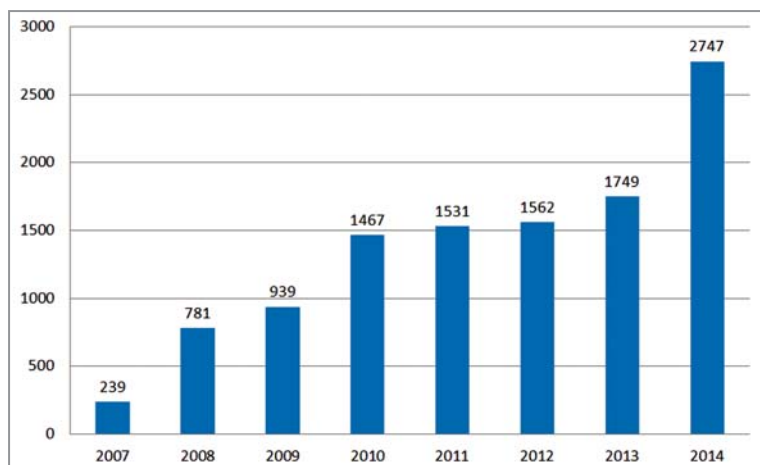


Рис. 1. Динамика реализации КПП в Якутии, тыс. м³

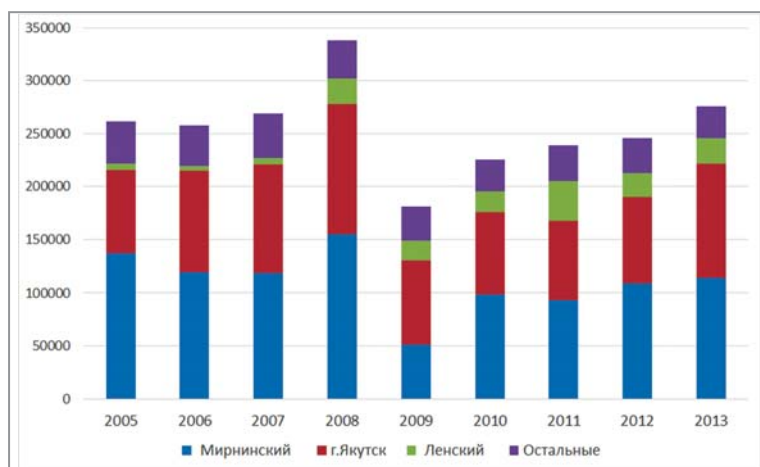


Рис. 2. Динамика потребления моторного топлива, тыс. т, по данным Якут(Саха)Стат

12 января 2015 г. исполнилось более восьми лет с момента ввода в эксплуатацию АГНКС-1 и 1,5 года со дня ввода в эксплуатацию АГНКС-2 в г. Якутске. Проектная мощность АГНКС-1 – выработка газа до 1140 м³/ч, или 27 тыс. м³/сут. В настоящее время в зимние месяцы АГНКС-1 ежедневно заправляет до 150 ед. автотехники общим объемом заправки 6,5...7,5 тыс. м³ КПП, загруженность станции составляет 22 %. Объем реализации газа с АГНКС-1 в 2014 г. достиг 1,9 млн м³.

Приведенные цифры показывают, что за восемь лет при отсутствии рынка ГМТ, практически без поддержки со стороны государственных структур, с нуля были достигнуты среднероссийские показатели использования газомоторного топлива.

На начало 2015 г. силами компании «Сахаметан» было установлено газобаллонное оборудование (ГБО) на 546 ед. автотехники. «Сахаметан» намерена расширять свою деятельность на территории республики. Так, в 2015 г. планируется строительство и ввод в эксплуатацию очередной АГНКС-3 в Якутске. В конце 2015 г. намечено открытие АГНКС в г. Мирном и Ленске, а также в п. Айхал. Кроме этого, планируется ввод в эксплуатацию блоков по сжижению метана в п. Айхал с производительностью 500 кг/ч и на железнодорожной станции Нижний Бестях (в 40 км от Якутска) с производительностью 800 кг/ч.

В перспективе объем рынка газомоторного топлива в республике будет зависеть от количества автотехники, переведенной на метан, в газифицированных районах. Произведем уточнение Энергетической стратегии РС(Я) в части прогноза потребления моторного топлива с учетом состояния рынка ГМТ в Якутии для умеренного и стратегического сценариев развития.

Число зарегистрированных автомобилей по данным 2013 г. в газифицированных районах (с учетом газифицируемых

Таблица 1

Обеспеченность автотехникой населения Якутии

| Районы | Количество автотехники (2013 г.) | | | Население, чел. | Обеспеченность автотехникой на 1 тыс. чел. | | | |
|---------------------|----------------------------------|--------------|-------------|-----------------|--|------------|-----------|------------|
| | легковая | грузовая | автобусы | | общая | легковой | грузовой | автобусами |
| Амгинский | 2245 | 317 | 120 | 16697 | 161 | 134 | 19 | 7 |
| Вилуйский | 4136 | 884 | 45 | 24581 | 206 | 168 | 36 | 2 |
| Горный | 2271 | 515 | 97 | 11590 | 249 | 196 | 44 | 8 |
| Ленский | 10777 | 3166 | 472 | 38427 | 375 | 280 | 82 | 12 |
| Мегино-Кангаласский | 8775 | 2438 | 212 | 30460 | 375 | 288 | 80 | 7 |
| Мирнинский | 31702 | 8287 | 1752 | 71186 | 586 | 445 | 116 | 25 |
| Намский | 4392 | 1113 | 167 | 23485 | 242 | 187 | 47 | 7 |
| Нюрбинский | 5062 | 1124 | 484 | 24512 | 272 | 207 | 46 | 20 |
| Сунтарский | 4437 | 973 | 85 | 24075 | 228 | 184 | 40 | 4 |
| Таттинский | 3022 | 730 | 84 | 16294 | 235 | 185 | 45 | 5 |
| Усть-Алданский | 1699 | 274 | 90 | 21034 | 98 | 81 | 13 | 4 |
| Хангаласский | 6602 | 934 | 386 | 32394 | 245 | 204 | 29 | 12 |
| Чурапчинский | 3225 | 719 | 110 | 20577 | 197 | 157 | 35 | 5 |
| Город Якутск | 87986 | 14710 | 5091 | 310790 | 347 | 283 | 47 | 16 |
| Итого | 176331 | 36184 | 9195 | 666102 | 333 | 265 | 54 | 14 |

Данные: ГИБДД ГУВД Республики Саха Якутии, Якут(Саха)Стат.

в ближайшем будущем) показано в табл. 1.

Динамика потребления моторного топлива в Якутске, Мирнинском и Ленском районах показана на рис. 2.

Высокая концентрация автотранспорта и наибольший объем потребления моторного топлива в рассматриваемых районах указывают на то, что основные усилия по развитию рынка ГМТ необходимо будет сосредоточить именно там.

Для расчета потребности в ГМТ были сделаны следующие общие для умеренного и стратегического сценариев предположения:

- количество населения в рассматриваемых районах будет увеличиваться с 660 тыс. чел. в 2013 г. до 700 тыс. чел. в 2030-м; долевое распределение населения между районами будет оставаться неизменным;

- обеспеченность автотехникой будет увеличиваться во всех районах и

предполагается, что она будет выравниваться по районам, поэтому чем ниже текущая обеспеченность, тем выше будет темп ее роста;

- средний пробег и удельный расход топлива не меняются во всем рассматриваемом периоде;

- в секторе грузовых автомобилей и автобусов доля техники с газобаллонным оборудованием будет выше, чем в секторе легковых машин.

Для двух сценариев были сделаны предположения относительно доли автотехники с установленным газобаллонным оборудованием (табл. 2) и темпов роста ее количества в зависимости от текущей обеспеченности (табл. 3).

Прогноз потребления моторного топлива в рассматриваемых районах республики в умеренном сценарии с учетом развития рынка газомоторного топлива представлен в табл. 4.

Таблица 2

Доля машин с ГБО, % от общего числа

| Сектор автомобилей | Годы | | |
|--------------------------------|------|------|------|
| | 2020 | 2025 | 2030 |
| Умеренный сценарий | | | |
| Легковые | 3 | 5 | 10 |
| Грузовые | 5 | 10 | 15 |
| Автобусы | 10 | 15 | 25 |
| Стратегический сценарий | | | |
| Легковые | 5 | 10 | 20 |
| Грузовые | 10 | 25 | 50 |
| Автобусы | 10 | 30 | 60 |

Таблица 3

Темп роста количества автотехники в зависимости от обеспеченности

| Сектор | Обеспеченность, ед./1000 чел. | | |
|---|-------------------------------|-----------|----------|
| Легковые | До 150 | 150...250 | Выше 250 |
| Грузовые | До 20 | 20...50 | Выше 50 |
| Автобусы | До 5 | 5...15 | Выше 15 |
| Темп роста, % в год (умеренный сценарий) | 3 | 2 | 1 |
| Темп роста, % в год (стратегический сценарий) | 6 | 4 | 2 |

Таблица 4

Прогноз потребления моторного топлива в рассматриваемых районах с учетом развития рынка ГМТ (умеренный сценарий)

| Наименование | Годы | | |
|-------------------------------|---------------|---------------|---------------|
| | 2020 | 2025 | 2030 |
| Население, чел. | 675000 | 685000 | 700000 |
| Легковые, ед. | 195009 | 207276 | 219493 |
| Обеспеченность, ед./1000 чел. | 289 | 303 | 314 |
| Всего топлива, т | 105956 | 112022 | 118272 |
| Нефтепродукты, т | 102777 | 106421 | 106444 |
| Метан, т/тыс. м ³ | 3179 / 4433 | 5601 / 7812 | 11827 / 16495 |
| Грузовые, ед. | 39910 | 42215 | 44602 |
| Обеспеченность, ед./1000 чел. | 59 | 62 | 64 |
| Всего топлива, т | 137485 | 145020 | 152895 |
| Нефтепродукты, т | 130611 | 130518 | 129961 |
| Метан, т/тыс. м ³ | 6874 / 9588 | 14502 / 20226 | 22934 / 31986 |
| Автобусы, ед. | 10168 | 10792 | 11448 |
| Обеспеченность, ед./1000 чел. | 15 | 16 | 16 |
| Всего топлива, т | 60043 | 63442 | 66961 |
| Нефтепродукты, т | 54039 | 53925 | 53569 |
| Метан, т/тыс. м ³ | 6004 / 8374 | 9516 / 13272 | 13392 / 18678 |
| Всего автотехники, ед. | 245087 | 260283 | 275543 |
| Обеспеченность, ед./1000 чел. | 363 | 380 | 394 |
| Всего топлива, т | 303484 | 320484 | 338128 |
| Дизельное, т | 198324 | 200697 | 200082 |
| Бензин, т | 89102 | 90168 | 89892 |
| Метан, т/тыс. м ³ | 16057 / 22395 | 29619 / 41310 | 48154 / 67160 |

В умеренном сценарии прогнозируется рост потребления газомоторного топлива до уровня 48,1 тыс. т метана в 2030 г., что составит 14 % общего объема потребленного моторного топлива в рассматриваемых районах.

Доли бензинов и дизельного топлива будут пропорционально сокращаться.

В рамках всей республики прогноз потребления моторного топлива представлен в табл. 5.

Таблица 5

Прогноз потребления моторного топлива с учетом развития рынка ГМТ в Якутии (умеренный сценарий), т/год

| Потребление моторного топлива, т | Годы | | |
|----------------------------------|---------------|---------------|---------------|
| | 2020 | 2025 | 2030 |
| Дизельное* | 340783 | 347505 | 350990 |
| Бензин | 126043 | 128529 | 129818 |
| Метан | 16057 | 29619 | 48154 |
| Керосин | 180000 | 200000 | 220000 |
| СУГ | 15000 | 17000 | 19000 |
| Итого топлива, т/год | 677883 | 722654 | 767962 |

Примечание: * без учета объема дизельного топлива, расходуемого на электрогенерацию.

Таблица 6

Прогноз потребления моторного топлива в рассматриваемых районах с учетом развития рынка ГМТ (стратегический сценарий)

| Наименование | Годы | | |
|-------------------------------|---------------|----------------|-----------------|
| | 2020 | 2025 | 2030 |
| Население, чел. | 675000 | 685000 | 700000 |
| Легковые, ед. | 206648 | 230624 | 255672 |
| Обеспеченность, ед./1000 чел. | 306 | 337 | 365 |
| Всего топлива, т | 111876 | 124432 | 137857 |
| Нефтепродукты, т | 106282 | 111989 | 110285 |
| Метан, т/тыс. м ³ | 5594 / 7802 | 12443 / 17355 | 27571 / 38454 |
| Грузовые, ед. | 42178 | 46963 | 52123 |
| Обеспеченность, ед./1000 чел. | 62 | 69 | 74 |
| Всего топлива, т | 144924 | 160797 | 178099 |
| Нефтепродукты, т | 130431 | 120598 | 89050 |
| Метан, т/тыс. м ³ | 14492 / 20213 | 40199 / 56066 | 89050 / 124198 |
| Автобусы, ед. | 10819 | 12156 | 13676 |
| Обеспеченность, ед./1000 чел. | 16 | 18 | 20 |
| Всего топлива, т | 63599 | 70845 | 78994 |
| Нефтепродукты, т | 57239 | 49591 | 31598 |
| Метан, т/тыс. м ³ | 6360 / 8870 | 21253 / 29642 | 47396 / 66104 |
| Всего автотехники, ед. | 259645 | 289743 | 321471 |
| Обеспеченность, ед./1000 чел. | 385 | 423 | 459 |
| Всего топлива, т | 380695 | 421130 | 465514 |
| Дизельное, т | 244643 | 236184 | 197841 |
| Бензин, т | 103455 | 100100 | 84097 |
| Метан, т/тыс. м ³ | 26446 / 36884 | 73896 / 103063 | 164017 / 228755 |

Для реализации данного объема газа (67 млн м³ метана в год) потребуется соответствующее число АГНКС. Если принять для расчета, что новые АГНКС по мощности будут такими же, как уже существующие (27 тыс. м³ в сутки), и с учетом планируемой загрузки 70 % потребуется 10 АГНКС на все рассматриваемые районы, в том числе четыре в Якутске.

Прогноз потребления моторного топлива в стратегическом сценарии с учетом развития рынка газомоторного топлива представлен в табл. 6.

В стратегическом сценарии прогнозируется рост потребления газомоторного

соответствующее число АГНКС. С учетом планируемой загрузки 70 % на все рассматриваемые районы потребуется 33 АГНКС, в том числе в Якутске 15.

Развитие рынка газомоторного топлива в Якутии является стратегически важной задачей. Республика обладает крупными запасами газа и сетью газифицированных населенных пунктов. Это является отправной точкой для начала развития рынка ГМТ в республике. Соответствующим государственным органам следует активно поддерживать активность в этом направлении, важность которого трудно переоценить, так

Таблица 7

Прогноз потребления моторного топлива с учетом развития рынка ГМТ в Якутии (стратегический сценарий), т/год

| Потребление моторного топлива, т | Годы | | |
|----------------------------------|---------------|---------------|---------------|
| | 2020 | 2025 | 2030 |
| Дизельное* | 350294 | 349621 | 320469 |
| Бензин | 129561 | 129312 | 118530 |
| Метан | 26446 | 73896 | 164017 |
| Керосин | 230000 | 250000 | 280000 |
| СУГ | 18000 | 18000 | 19000 |
| Итого | 754301 | 820829 | 902017 |

Примечание: *без учета объема дизельного топлива, расходуемого на электрогенерацию.

топлива до уровня 164 тыс. т метана в 2030 г, что составит 42 % общего объема потребленного моторного топлива в рассматриваемых районах.

В целом по республике прогноз потребления моторного топлива представлен в табл. 7.

Для реализации данного объема газа (228 млн м³ КПП в год) потребуется

как метан дешевле и экологически чище нефтепродуктов. В итоге в выигрыше окажутся все – экология, автолюбители, бюджетные организации, предприниматели.

Статья написана при поддержке Научно-образовательного фонда молодых ученых Республики Саха (Якутия).

Литература

1. Энергетическая стратегия РС(Я) на период до 2030 г. – Якутск, 2009. – 417 с.
2. Официальные данные компании ОАО «Сахатранснефтегаз»
URL: <http://www.sakhatransneftegas.ru/company/units/9> (дата обращения: 16.02.2015).

Agira является лидирующей компанией в технологии, применяемой в компримировании природного газа. На своих промышленных предприятиях в Аргентине **Agira** производит большой ассортимент продукции, продаваемой по всему миру. Технология **Agira** выделяется своими уникальными прочностными характеристиками всех производимых изделий и обеспечивает надежную долговечную их работу при минимальном эксплуатационном обслуживании.

С момента своего основания **Agira** находится в постоянном поиске новых объектов во всех частях мира, где есть возможность проверить работоспособность применяемой технологии в самых различных условиях эксплуатации. Технологии **Agira** применяются на **четыре-х континентах, что служит неопровержимым доказательством достижений компании в данном направлении.**

Agira стремится к совершенству, поддерживая стандарты **ISO 9001-2008** на производстве, в торговле и при управлении предприятиями, удовлетворяет требованиям стандартов **BureauVeriasInternational, UKAS&CE.**

За соблюдение единого стандарта качества во всех производственных процессах и непрерывное совершенствование компания **Agira** была удостоена премии **Export-AtFoundationAward 2008** в категории «Укрепление международных рынков» и в **2009** году в категории «Открытие новых рынков».

На Российском рынке компанию **Agira** представляет **ООО «ЭнергоЦентрПроект».**

Специализация **ООО «ЭнергоЦентрПроект»** – предприятия нефтегазовой отрасли Российской Федерации.

Во взаимодействии с компанией **Agira** **ООО «ЭнергоЦентрПроект»** предоставляет следующие услуги на рынке газомоторного топлива:

- проектирование;
- строительство;
- поставка оборудования;
- монтаж оборудования;
- пусконаладка оборудования;
- послегарантийное обслуживание.

Компрессор высокой производительности

- **Knox Western** компрессор.
- Четырехпоршневой компрессор.
- Простой и компактный дизайн.
- Тип: горизонтальный оппозитный.
- Воздушное охлаждение.
- Дистанционный ПЛС и электрическая панель управления.
- Температура КПП на 2 °С выше температуры окружающей среды.
- Уникальная система снижения шума **StopNoise®.**
- Нет вибрации.
- Давление на входе от 0,05 МПа.
- Мощность двигателя до 380 кВт.
- Привод прямой или ременной.
- Смазываемые/несмазываемые поршневые кольца.

Опция

- Электрический двигатель/Газовый двигатель.
- Шумопоглощающий корпус.



Официальный представитель на территории России и Казахстана

Россия, 111250, г. Москва, проезд Завода Серп и Молот, д. 6, корп. 1.

Тел./Факс +7 (495) 280-71-76
info@ecpmsk.ru
www.ecpmsk.ru



Ruta Panamericana Km 30
Colectora Oeste n° 30048
CP (1617) Pacheco -Pdo. de Tigre
Buenos Aires – Argentina
Tel (+54 11) 6334-0000
Email: sales@agira.com.ar

www.agira.com.ar

Сравнительный анализ экономической оценки применения газового оборудования на автомобиле

К.И. Мерзликина, магистрант Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова,
Д.Н. Солодовников, доцент кафедры сервиса транспортных и технологических машин Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова, к.т.н.

В статье рассчитана экономическая выгода от использования газового оборудования в легковых автомобилях. Приведены положительные и отрицательные характеристики газового оборудования. Сделан вывод о реальной выгоде газового топлива в сравнении с традиционным жидким топливом.

Ключевые слова:

автомобиль, газовое оборудование, газ, экономия.

Стоимость проезда на автомобиле напрямую зависит от того, сколько ему нужно топлива, а это в свою очередь зависит от объема двигателя и массы автомобиля, а также от способа организации рабочего процесса. Поэтому современные разработки инженеров-технологов направлены на создание экономичных автомобилей. Более экономичными считаются те, которые оснащены дизельным двигателем.

В наше время очень часто применяются газовые системы, которые устанавливаются на автомобиль, что позволяет ему использовать, помимо основного топлива, еще и газ [1]. Говорить о получении прибыли от перевода транспорта на газ не совсем корректно. Речь скорее может идти о сокращении эксплуатационных затрат и снижении себестоимости транспортной работы.

Премьер-министр РФ Дмитрий Медведев на совещании по развитию автомобильной промышленности обратил внимание на малое количество автомобилей, работающих на альтернативном топливе. Затраты на топливо у автомобилей, работающих на газе, заметил Медведев, в 2-2,5 раза ниже, чем у бензиновых и дизельных аналогов. По данным Газпрома, основного поставщика в России данного топлива, газомоторных автомобилей в стране насчитывается менее 90 тыс., в то время как общий парк машин России составляет 50 млн ед.

К положительным характеристикам газового оборудования можно отнести следующие:

- финансовая экономия по сравнению с бензиновыми аналогами – в процессе использования пропан-бутана (СУГ) [2] экономия топлива повышается в 2 раза, а использование метана увеличивает экономию в 3 раза, поэтому если расход бензина очень большой, применение газового оборудования является очень выгодным;

- уменьшение нагрузки на двигатель – это происходит из-за того, что газовое топливо имеет антидетонационную стойкость;

- увеличение срока службы двигателя, поскольку практически чистый газ не оставляет нагара на клапанах, поршнях и свечах автомобиля;

- возможность переключения с газа на бензин, что увеличивает пробег автомобиля между заправками;

- экологичность газового топлива, которая в сравнении с неэтилированным бензином выше в 3-4 раза.

Отрицательные характеристики газобаллонного оборудования (ГБО):

- высокая стоимость качественной газовой системы;

- прекращение действия гарантии на автомобиль после установки на него ГБО, поскольку это прямое изменение в конструкции транспортного средства, поэтому водителю следует выбирать, что ему важнее – экономия или гарантийное сервисное обслуживание;

- обязательное внесение всех изменений в технический документ транспортного средства – после установки ГБО необходимо встать на учет и провести регистрацию в МРЭО, что влечет за собой дополнительные затраты времени и средств, связанные с периодической проверкой газобаллонного оборудования;

- уменьшение багажника автомобиля примерно на 60...100 л;

- увеличение массы автомобиля на 30...40 кг;

- потеря мощности двигателя на 2...8 %;

- затруднения с пуском холодного двигателя (рекомендуется запуск двигателя на бензине, после прогрева возможен перевод на газовое топливо), это относится только к карбюраторным двигателям, в инжекторных с установленным ГБО 4-го или 5-го поколения машина всегда заводится на бензине и после прогрева до 45...50 °С автоматически переключается на газ [3];

- увеличение расхода топлива, поскольку расход газа больше расхода бензина примерно на 15...20 % для ГБО 2-го поколения и на 5...7 % – для 4-го;

- необходимость проветривания бокса, в котором хранится автомобиль, так как утечка газового топлива может привести к несчастным случаям.

Однако следует заметить, что в автомобильных газовых двигателях заводского изготовления нет и половины недостатков, которые перечислены выше.

Несмотря на все трудности, связанные с установкой газобаллонного оборудования, переоборудовать автомобиль рекомендуется в следующих случаях:

- пробег автомобиля за год превышает 20 тыс. км;

- расход бензина более 10 л на 100 км;

- заправка автомобиля осуществляется дорогим бензином – Аи-95 и Аи-98.

Проведем сравнительный расчет стоимости эксплуатации автомобиля Ford Mondeo [4] последнего поколения за 5 лет, оснащенного бензиновым двигателем объемом 2 л со средним пробегом за этот период около 150 тыс. км. Для сравнения возьмем тот же самый двигатель, переоборудованный на газовое топливо, и дизельный двигатель объемом 2 л со схожими техническими характеристиками (таблица).

Технические характеристики автомобиля Ford Mondeo с объемом двигателя 2 л

| Параметры | Бензин | Газовое топливо* | Дизельное топливо |
|---|--------|------------------|-------------------|
| Максимальная мощность, кВт | 107 | 104 | 103 |
| Крутящий момент, Нм | 185 | 176 | 320 |
| Максимальная скорость, км/ч | 210 | 202 | 210 |
| Время разгона до 100 км/ч, сек | 9,9 | 10,8 | 9,5 |
| Расход топлива (смешанный цикл), л/100 км | 7,9 | 9,1 | 5,3 |
| Расход топлива (в городе), л/100 км | 11,2 | 12,5 | 6,4 |
| Расход топлива (за городом), л/100 км | 6 | 7,1 | 4,6 |

* Параметры для автомобиля на газовом топливе взяты исходя из опыта эксплуатации автомобиля, оборудованного ГБО фирмы BRC (Италия).

Затраты на топливо

Если средний расход топлива (бензин) в городе Белгород составляет 8,36 л на 100 км, то расход на 1 км пути будет 0,083 л. Таким образом затраты на пробег 150 тыс. км с учетом стоимости топлива 30 руб./л составят:

$$C_6 = 0,083 \cdot 150000 \cdot 30 = 373\,500 \text{ руб.}$$

Расход дизельного топлива – 6,4 л на 100 км, или 0,064 л на 1 км пути. Затраты на пробег 150 тыс. км с учетом стоимости топлива 30,5 руб./л составят:

$$C_d = 0,064 \cdot 150000 \cdot 30,5 = 292\,800 \text{ руб.}$$

Расход газового топлива – 9,5 л на 100 км, или 0,095 л на 1 км пути. Затраты на пробег 150 тыс. км с учетом стоимости топлива 14,3 руб./л составят:

$$C_r = 0,095 \cdot 150000 \cdot 14,3 = 203\,775 \text{ руб.}$$

Исходя из наблюдений в среднем к расходу газа следует добавить 0,5...1,5 л бензина на 100 км (в зависимости от времени года и условий эксплуатации), который необходим для запуска и прогрева двигателя. Дополнительно средние затраты на бензин составят:

$$C_{\text{доп б}} = 0,01 \cdot 150000 \cdot 30 = 45\,000 \text{ руб.}$$

Тогда общая стоимость затрат на топливо (газ + бензин) составит:

$$C_{r+b} = 45000 + 203775 = 248775 \text{ руб.}$$

Затраты на ТО

Поскольку периодичность прохождения ТО для автомобилей Ford составляет 15 тыс. км, то при пробеге 150 тыс. км за 5 лет автомобиль пройдет 10 ТО [4]. В среднем один ТО для Ford Mondeo 2.0L (бензиновый двигатель) стоит 7 500 руб. Тогда получаем:

$$C_{\text{ТО6}} = 7500 \cdot 10 = 75\,000 \text{ руб.}$$

Стоимость одного ТО для Ford Mondeo 2.0L (дизельный двигатель) составляет 8500 руб. Тогда получаем:

$$C_{\text{ТОд}} = 8500 \cdot 10 = 85\,000 \text{ руб.}$$

Для автомобиля Ford Mondeo 2.0L, работающего на газовом топливе, каждые 20 тыс. км, помимо основного, проводятся и дополнительные ТО, связанные с обслуживанием газовой аппаратуры. Стоимость такого техосмотра составляет 2 000 руб. При пробеге 150 тыс. км за 5 лет автомобиль пройдет семь дополнительных ТО. Тогда получаем:

$$C_{\text{ТОг}} = 2000 \cdot 7 + 75000 = 89\,000 \text{ руб.}$$

Сложив затраты на топливо и ТО, мы получим приблизительную стоимость эксплуатации Ford Mondeo, которая будет равна:

$$C_{\text{эб}} = 373500 + 75000 = 448\,500 \text{ руб.}$$

$$C_{\text{эд}} = 292800 + 85000 = 377\,800 \text{ руб.}$$

$$C_{\text{эг}} = 248775 + 89000 = 337\,775 \text{ руб.}$$

Таким образом, проанализировав полученные данные, можно сделать вывод о том, что переоборудованный на газ автомобиль в лучшем случае в эксплуатации в 1,3 раза выгоднее, нежели автомобиль, использующий традиционный бензин (а не в 2-2,5 раза, как утверждают продавцы газового оборудования). Если посмотреть на затраты дизельного автомобиля, то окажется, что газовое топливо выгоднее на 11 %. При этом в расчетах мы не учли стоимость самого газового оборудования, которая с установкой может достигать 30 000 руб. и более.

Следовательно, вопрос о выгоде использования газового топлива для рядового владельца автомобиля, пробег которого составляет до 30 тыс. км в месяц, является спорным. Выгода не столь значительна, как обещают установщики ГБО, при этом недостатки очевидны: требуются дополнительные заезды на ТО газового оборудования; появляются неудобства, связанные с заправкой автомобиля газом (малая сеть заправок, возможность обморожения рук при заправке СПГ); уменьшается багажное отделение; прочие недостатки, указанные ранее.

Из этого можно сделать вывод, что для легкового автомобиля газовое топливо в эксплуатации выгоднее традиционного жидкого в 1,1-1,4 раза, а не в 2-2,5 раза, как широко рекламируется. Поэтому к вопросу о переходе на газовое топливо нужно подходить осторожно, с учетом параметров эксплуатируемого транспортного средства и его годового пробега.

Литература

1. Схемы установки ГБО: карбюратор / инжектор. Как это работает: ответы на все вопросы, возникающие при эксплуатации ГБО. Газобаллонное оборудование. – М.: Транспорт, 2008. – 56 с. ISBN: 967-854-921-2,978-6-17537-035-3.
2. **Афонин С.** Газовое оборудование автомобилей. – М.: Транспорт, 2001. – 32 с.
3. Газобаллонное оборудование фирмы BRC (Италия). Руководство по эксплуатации. <http://www.brcgasequipment.ua/documents/guideGBO/BRC.pdf> (дата обращения 09.10.2014 г.).
4. <http://ford-belgorod.ru> (дата обращения 09.10.2014 г.).

Авиационная силовая установка на водородовоздушных твердополимерных топливных элементах

И.Е. Баранов, начальник лаборатории НИЦ «Курчатовский Институт», к.ф.-м.н.,
В.Н. Фатеев, заместитель директора НИЦ «Курчатовский Институт», д.х.н.,
В.И. Порембский, начальник отдела НИЦ «Курчатовский Институт»,
А.А. Калинин, начальник лаборатории НИЦ «Курчатовский Институт»

Представлен первый отечественный беспилотный летательный аппарат с основной силовой установкой на топливных элементах. Рассмотрены особенности работы специализированных топливных элементов, связанные с водяным балансом. Рассмотрены перспективы использования в авиации топливных элементов на водороде, особенности хранения водорода на борту летательного аппарата.

Ключевые слова:

авиация, топливный элемент, водород.

В последние годы наблюдается бурное развитие мобильных систем на базе электрохимических источников энергии. Автомобили и другие виды транспорта постепенно начинают переходить с двигателей внутреннего сгорания (ДВС) на электрическую тягу. Существенным моментом является начало развития авиации на водородных топливных элементах (ТЭ).

Общее количество энергии, запасенной в таком источнике, определяется, в отличие от химического аккумулятора, не массой гальванических ячеек, а запасом водорода в водородном химическом картридже или баллоне и, соответственно, массой такого картриджа. Оценки показывают, что при энергосодержании выше 10 кДж масса системы на ТЭ ниже массы аккумулятора с аналогичным энергосодержанием в 2-3 раза.

Силовая энергоустановка (электродвигатель – ТЭ – бак с водородом) по сравнению с традиционным приводом на тепловой машине (ДВС – бак с жидким углеводородом) имеет следующие существенные принципиальные преимущества:

1. Отсутствие ограничения Карно по максимальному КПД. У ТЭ при рабочей температуре менее 100 °С легко достигается КПД преобразования энергии топлива 70...80 %.

2. Химическое преобразование энергии сгорания водорода обуславливает отсутствие механических узлов движущихся частей и деталей в генераторе электроэнергии. Процесс регулируется только электрической нагрузкой, отсюда простота конструкции, надежность, меньшая шумность и легкость технического обслуживания.

3. Водород как топливо имеет в 3 раза большую удельную энергию: 120 МДж/кг по сравнению с 40 МДж/кг у жидких углеводородных топлив. В авиации, где на массу топлива приходится значительная часть от массы летательного аппарата, использование водорода способно в 2-3 раза поднять дальность полета или массу полезной нагрузки. Отметим, что водород может храниться на борту в виде химических соединений-генераторов водорода, в сжатом или сжиженном виде. Технология использования жидкого водорода в качестве топлива уже давно отработана в нашей стране на экспериментальном самолете ОКБ Туполева Ту-155 [1].

4. Высокая экологическая чистота. Единственным продуктом окисления водорода в низкотемпературных топливных элементах является вода.

Перспективы применения энергоустановок на ТЭ в авиации

Источники электрической энергии на топливных элементах имеют свои специфические особенности, наличие которых приводит к необходимости оптимизации путей внедрения этих установок в авиацию. К таким особенностям следует отнести простоту и надежность ТЭ, возможность использования водорода в качестве топлива, получение электроэнергии. Вследствие этих особенностей можно предложить следующие области внедрения энергоустановок на ТЭ в авиацию:

1. Замена традиционной газотурбинной вспомогательной силовой установки (ВСУ). Традиционные ВСУ (например, ВГТД ТА12-60 объединения «Аэросила» или APS5000 фирмы Hamilton Sundstrand [2]) предназначены как для подачи воздуха на запуск двигателей и снабжения воздухом салона, так и для использования их в качестве источника бортового электропитания.

Такая ВСУ имеет общую мощность 360 кВт, из них на генерацию электроэнергии приходится 60 кВт.

2. Резервные источники мощности для гарантированного питания критических агрегатов самолета. Важнейшим параметром бортового электроснабжения является его надежность. Для этого основные электрические линии дублируются. Тем не менее, это не всегда предотвращает случаи обесточивания. Одним из принципиальных путей увеличения надежности могут быть, например, небольшие ТЭ, встроенные в блоки самолетной аппаратуры. Питание ТЭ будет осуществляться за счет небольшого расхода водорода по титановым или пластиковым капиллярам. Такое решение может обеспечить отсутствие гальванической связи в линии энергоснабжения, что увеличит надежность. Этот способ может быть одним из видов дублирования энергоснабжения самолетной аппаратуры по принципиально разным каналам.

3. Водородный самолет на электрической тяге. В настоящий момент в разных странах прорабатывается технология внедрения электрической тяги на авиационных транспортных средствах. Например, объединение «Аэросила» [3] рассматривает возможность создания самолета на электрической тяге с использованием традиционных газотурбинных генераторов энергии.

Основным направлением внедрения основных силовых установок на ТЭ являются беспилотные летательные аппараты (БПЛА) [4-7]. Так, в проекте NASA Helios [7] даже использовался обратимый топливный элемент, который от фотобатарей, установленных на крыльях самолета, в режиме электролиза обеспечивал самолет водородом.

Прогресс в разработке ТЭ и высокая удельная (на единицу массы) энергоемкость водорода, как топлива ТЭ, делает возможным реализовать принципиально новые проекты, например,

электрическую основную силовую установку самолета малой и средней авиации с использованием водорода как основного топлива на борту.

Топливные элементы имеют КПД использования энергии топлива существенно (до 2 раз) выше, чем КПД традиционной газотурбинной силовой установки. С другой стороны, использование водорода, который обладает энтальпией сгорания 120 МДж/кг против 43 МДж/кг у керосина, делает возможным поднять еще в 3 раза дальность полета.

В последнее время технология хранения жидкого водорода доведена практически до совершенства. Проекты использования сжиженного водородного топлива разрабатываются давно, и один из них был доведен еще в СССР до полетных испытаний на экспериментальном Ту-155.

В объединении «Гелиймаш» [8] достигнуты успехи по разработке криогенных баков для жидкого водорода, которые отличает низкая стоимость, высокая эффективность, безопасность и простота. Разработаны относительно простые и дешевые ожижители, которые позволят легко создать аэродромную сеть заправок жидким водородом. При непосредственной же заправке жидким водородом в течение нескольких часов перед вылетом будет достаточна более легкая теплоизоляция баков слоем пенопласта. Такая теплоизоляция незначительно увеличит массу бака по сравнению с аналогичным для керосина. Кроме того, особенности использования авиатранспорта на регулярных рейсах позволяют сделать экономически эффективной сеть заправок жидким водородом, состоящую из небольшого числа заправочных пунктов.

Все это свидетельствует о том, что весьма перспективной является основная силовая установка самолета, объединяющая технологии силовых авиационных установок на ТЭ и криогенное хранение

жидкого водорода на борту. Такая установка может теоретически иметь шестикратное (в три раза за счет большей энергоемкости водорода в сравнении с керосином и в два за счет большего КПД ТЭ) превосходство над традиционными силовыми установками с газотурбинными двигателями (ГТД), работающими на керосине.

Рассмотрим, может ли энергосистема на твердополимерных ТЭ конкурировать с традиционными газотурбинными двигателями в качестве привода основной силовой установки. Для примера сравним газотурбинный двигатель АИ-24 авиационной силовой установки относительно небольшого самолета АН-24. Данный двигатель имеет взлетную мощность 1876 кВт и массу 600 кг. Во взлетном режиме расход топлива составляет 0,359 кг/кВт·ч, в крейсерском – 0,325 кг/кВт·ч. То есть в крейсерском режиме двигатель имеет КПД 0,47 по отношению к теплоте сгорания топлива (авиационный керосин), которая равна 43,54 МДж/кг. Масса топлива в АН-24 составляет 4000 кг [9].

Проведем сравнение газотурбинного двигателя с энергоустановкой на ТЭ по двум параметрам: мощности установки и запасам энергии (топливо).

По приведенным данным видно, что у газотурбинного двигателя удельная мощность составляет 3 кВт/кг, тогда как у энергоустановки на ТЭ этот показатель равен 0,7 кВт/кг без баков с водородом или конвертора, что в 4 раз ниже.

Низкая удельная мощность энергоустановки на ТЭ может быть компенсирована двумя путями.

1. Снижение мощности двигателя. Мощность при сохраненной массе самолета может быть снижена, по крайней мере, в 2 раза. Это приведет к снижению скорости полета, и для компенсации потери подъемной силы потребуется увеличить площадь несущей поверхности крыльев, вследствие чего уменьшится либо дальность полета, составляющая

у АН-24 1000 км, либо число пассажиров, равное 48 чел.

2. Переход на сжиженный водород или новые капиллярные системы хранения этого топлива [10], имеющие более высокие характеристики по массовому содержанию водорода. Масса топлива составляет значительную долю массы самолета и существенно больше массы газотурбинных двигателей (4000 кг против 1200 кг массы двигателей). Использование водорода может в 3 раза снизить массу топлива при сохранении запасенной в нем энергии. То есть выигрыш составит 3000 кг, что может компенсировать возросшую массу двигателей при переходе на электрическую тягу. Кроме того, у энергоустановки на ТЭ КПД использования топлива выше в 1,3-1,5 раза. У ГТД АИ-24 КПД двигателя по отношению к теплоте сгорания топлива составляет 0,47, у энергоустановки на ТЭ – 0,6...0,7.

Но для реализации легких энергоустановок на ТЭ необходимо иметь сверхлегкие топливные элементы воздушного, а не водяного охлаждения, что требует дополнительный запас воды на борту. При этом оптимальным вариантом является использование воздуха одновременно как теплоносителя и реагента.

Охлаждение при КПД 60...70 % переводит 30...40 % энергии топлива в теплоту. Для выноса этой теплоты из твердполимерного ТЭ, работающего при температуре 40...80 °С, необходимо прокачивать через него значительное количество воздуха, что в свою очередь приводит к потере влаги в ТЭ и увеличению сопротивления твердполимерной (ионообменная) мембраны и мембранно-электродного блока в целом. С точки зрения авторов, конструктивно наиболее простой и удобный способ предотвращения потерь воды для авиационных агрегатов – подбор режимов работы и разработка конструкции такого ТЭ, в котором его мембрана увлажняется водой,

являющейся продуктом окисления водорода.

Ниже представлены результаты исследований водного баланса в мембранно-электродных блоках воздухоохлаждаемого ТЭ с большим расходом воздуха, особенности разработки конструкции ТЭ для авиационных приложений, результаты испытаний разработанного ТЭ в составе энергоустановки, а также даны оценки путей внедрения в авиацию энергетических систем на водородных ТЭ.

Разработка авиационного ТЭ и пути выбора оптимальных режимов работы

В данном разделе приведен анализ водно-газового режима воздухоохлаждаемого самоувлажняющегося ТЭ на основе результатов испытания батареи ТЭ (рис. 1) мощностью 250 Вт, которые были использованы в составе энергоустановки БПЛА. Масса данной батареи 1,5 кг, габариты 98×200×200 мм, она содержит 56 МЭБ и работает при напряжении 36 В.

Для расчета водного баланса в мембране и ячейке в целом была использована ранее разработанная математическая модель, описывающая процессы внутри МЭБ [11, 12].

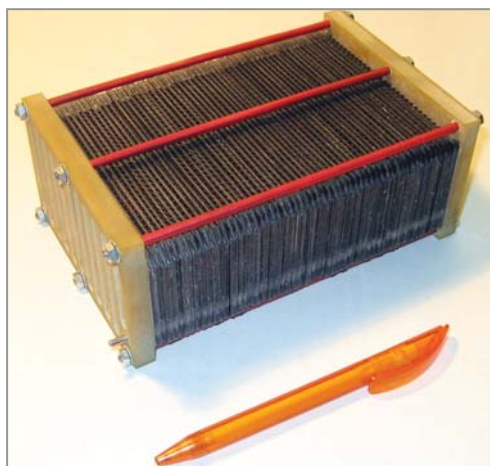
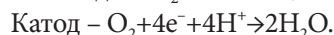
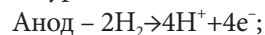


Рис. 1. Твердполимерная батарея ТЭ воздушного охлаждения мощностью 250 Вт

Определяющим фактором для эффективности топливного элемента является увлажненность МЭБ, включающего мембрану и каталитические слои. МЭБ зажат между двумя коллекторами тока, представляющими собой слои из углеродного нетканого волокнистого материала типа войлок (рис. 2). С коллекторами тока контактируют биполярные пластины, в каналах которых и протекают воздух (катодные каналы) и водород (анодные каналы на противоположной стороне от мембраны). Влажность МЭБ определяется диффузионным сопротивлением коллекторов тока, влажностью воздуха в катодных каналах и скоростью образования воды в катодном каталитическом слое за счет электрохимической реакции окисления водорода.

Суммарный процесс в ячейке ТЭ описывается уравнениями:



Стандартный равновесный потенциал суммарного процесса составляет 1,23 В, выходное напряжение топливной ячейки под нагрузкой обычно 0,5...0,8 В.

Воздухоохлаждаемые самоувлажняющиеся ТЭ имеют ряд особенностей, которые определяют характер водно-газового режима. Так, величина расхода воздуха определяется необходимостью эффективно поддерживать высокую концентрацию окислителя и отводить всю теплоту, выделившуюся в результате

электрохимической реакции. Последнее требование является доминирующим. Даже при максимально допустимых температурах ТЭ (80...90 °С) величина необходимого расхода воздуха в 10-15 раз превышает минимально необходимый расход для поддержания электрохимической реакции окисления водорода при заданном уровне мощности, то есть так называемый стехиометрический избыток по кислороду реакции окисления водорода более 10.

Так как предполагается отсутствие в составе энергоустановки каких-либо устройств для циркуляции водорода, то стехиометрическое отношение потока водорода к водороду, используемому в ТЭ, близко к единице, что необходимо для экономии ограниченных запасов водорода на борту.

Значительный расход входящего в ТЭ воздуха приводит к тому, что генерируемой в результате химической реакции воды не хватает для необходимого увлажнения этого воздуха. Это может привести к пересыханию мембраны и каталитических слоев, особенно при повышенных температурах. С другой стороны, повышение температуры ТЭ вызывает при прочих равных условиях рост эффективности его работы. Поэтому речь может идти о наиболее оптимальном по температуре режиме работы ТЭ. При этом оптимальная температура должна существенно зависеть от нагрузки.

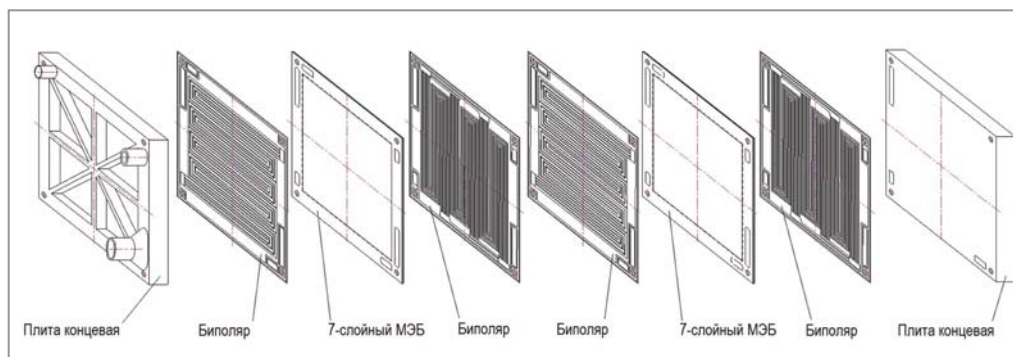


Рис. 2. Схема батареи топливных элементов

Поскольку стехиометрическое отношение потока водорода почти равно единице, то для стационарной работы топливного элемента выполняется условие отсутствия потока воды через мембрану. Это условие обеспечивает постоянную влажность среды в анодных каналах. Следовательно, отвод воды от катодного каталитического слоя осуществляется только диффузией через катодный коллектор тока в проточный канал.

Отсутствие потока воды через мембрану между анодным и катодным пространством обеспечивается двумя противоположно направленными процессами:

- электроосмотическим переносом воды протонами, образующими электрический ток через мембрану;
- диффузионным потоком воды через мембрану.

Поскольку электроосмотический перенос (с ионами водорода) всегда однозначно направлен от анода к катоду, то диффузионный поток направлен противоположно – от катода к аноду. Это обеспечивается тем, что увлажненность катодного каталитического слоя превышает увлажненность анодного каталитического слоя и является максимальной в МЭБ. Для того, чтобы увлажненность анодного каталитического слоя была достаточна для достижения высокой удельной производительности ТЭ в режиме самоувлажнения, толщина мембраны должна быть минимальна.

Следует полагать, что парциальное давление водяных паров в катодном каталитическом слое пропорционально плотности тока (скорость генерации воды). Отсюда следует принципиальная возможность реализации режима самоувлажнения для топливных элементов рассматриваемого типа за счет максимального увеличения плотности тока. Выполняется эта задача путем применения высокоактивных электрокатализаторов, допускающих эффективный процесс электрохимического окисления водорода

при низких концентрациях кислорода.

При небольших температурах или больших токах возможен процесс конденсации воды, особенно в локальных изолированных областях катодных каналов.

На рис. 3 представлена зависимость влажности катодного каталитического слоя от температуры и плотности тока. Красным цветом показаны области режима работы ТЭ, при которых наблюдаются процессы осушения мембраны и катодного каталитического слоя, синим – процессы обводнения катодного каталитического слоя. Зеленая зона соответствует нормальным рабочим режимам ТЭ.

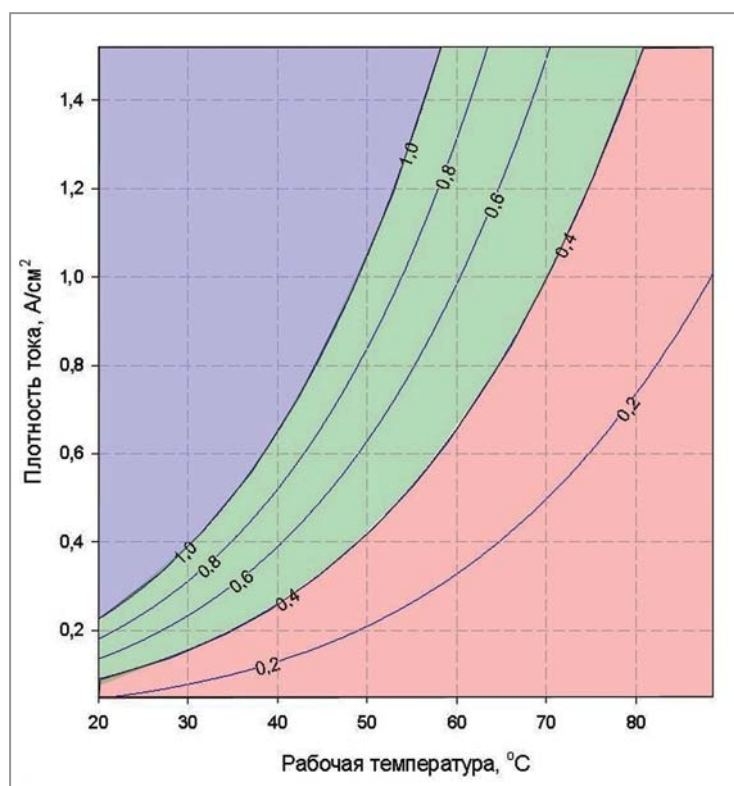


Рис. 3. Зависимость влажности катодного каталитического слоя от температуры и плотности тока

Существенно, что рабочая область довольно узка, что накладывает особые требования к точности работы системы управления.

На рис. 4 показаны две вольтамперные характеристики (ВАХ), полученные при большей температуре ($t=40\text{ }^{\circ}\text{C}$, кривая с квадратными точками) и меньшей температуре ($t=30\text{ }^{\circ}\text{C}$, кривая с круглыми точками). Красные фрагменты соответствуют режиму работы топливной батареи при недостатке воды, зеленые – нормальному режиму, синие – режиму с обводнением каталитических слоев в соответствии с рис. 3. Кривые получены потенциостатическим методом. Сканирование по напряжению начинается с равновесного напряжения при отсутствии тока.

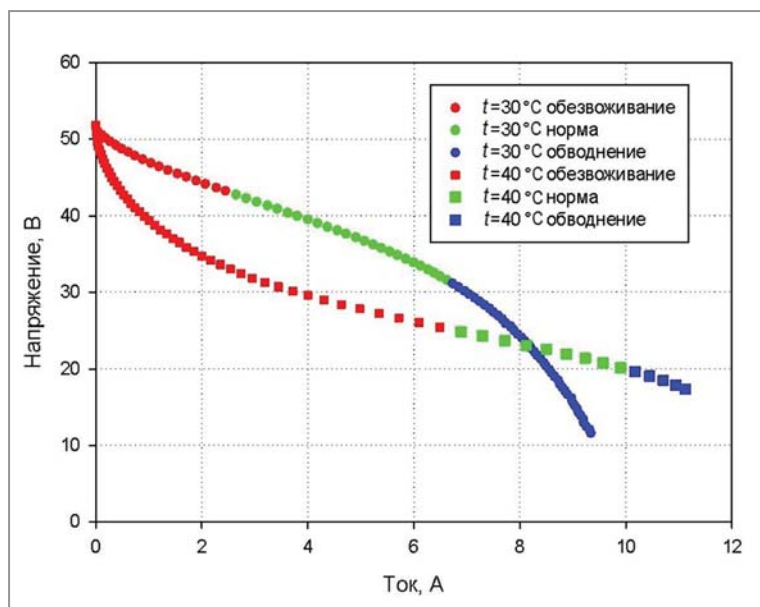


Рис. 4. Зависимость напряжения и влажности анодного и катодного каталитических слоев от температуры и плотности тока

Приведенные данные показывают, что при более высокой температуре область пересушивания МЭБ больше, что сказывается на ВАХ при малых токах. При максимальных токах переход в область обводнения катодного каталитического слоя происходит раньше при меньшей температуре.

Проблемы с осушением мембраны и каталитических слоев могут быть

частично решены при использовании импульсного режима работы топливного элемента (короткие, с большой скважностью импульсы максимального тока). Импульсы большого тока могут быстро создавать на некоторое время избыток влаги, который затем относительно медленно расходуется в основном режиме. Такой способ позволит расширить рабочую область режимов в сторону осушения.

На рис. 5 приведен фрагмент результатов испытаний батареи, иллюстрирующий применение импульсного режима работы ТЭ. Результаты показаны в виде зависимости тока на батарее от времени при постоянном напряжении на выходе. Импульсный режим работы в данном случае достигался кратковременным подключением к выходу батареи дополнительной электронной нагрузки с определенной периодичностью. До момента включения импульсного режима наблюдалось постепенное уменьшение величины тока, связанное с осушением мембраны и каталитических слоев. После включения импульсного режима ток восстановился до прежней величины и стабилизировался.

Заметим, что связанный с импульсным режимом перерасход водорода составлял около 2...3 %, что полностью компенсировалось увеличением тока и КПД базового режима. Наряду с этим, использование в качестве катализаторов смеси платинированной сажи и графена позволило повысить содержание ионообменного материала в каталитическом слое и стабильность работы ТЭ, а также несколько увеличить его ресурс.

Батарея ТЭ была испытана в составе силовой установки БПЛА [13] (рис. 6). Кроме батареи ТЭ, в состав данной силовой установки вошел углепластиковый водородный баллон, редуктор, электродвигатель с пропеллером и система управления. БПЛА продемонстрировал устойчивый полет в течение

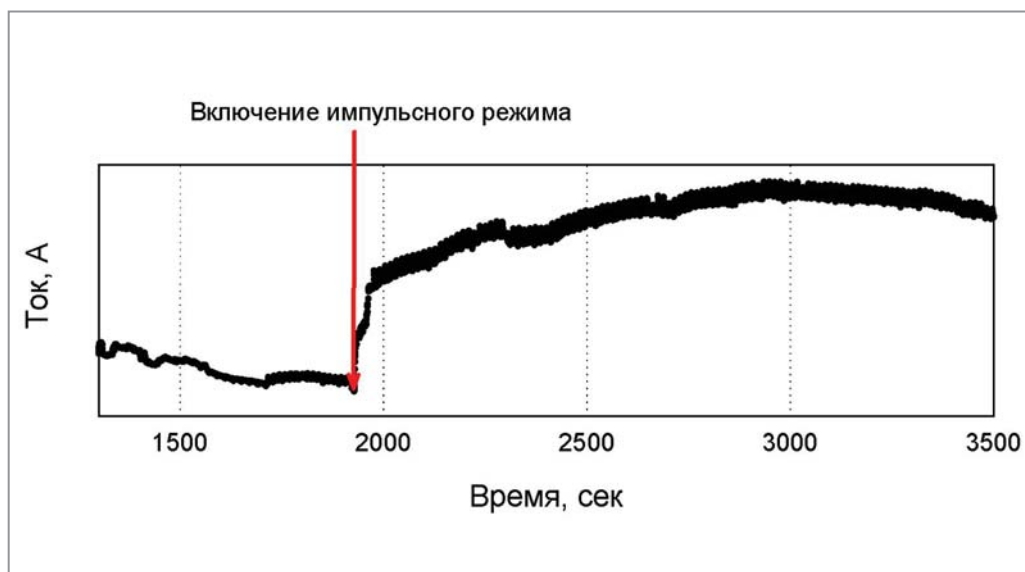


Рис. 5. Фрагмент результатов испытаний батареи с применением импульсной нагрузки

40 мин. Продолжительность данного испытательного полета определялась программой испытаний. В общем случае продолжительность полета зависит от вместимости баллона с водородом и может быть увеличена до нескольких часов полета.

Анализ перспектив применения водородного топлива и водородных топливных элементов в авиации показывает, что такие системы уже сейчас можно рассматривать как очень перспективные для беспилотной авиации малой мощности. В дальнейшем вспомогательные силовые установки на основе водородных ТЭ могут позволить решить ряд существенных экологических проблем для традиционной авиации (в частности, достичь снижения выбросов вредных веществ при наземном маневрировании).

Проведенные модельные оценки и полученные экспериментальные данные по работе твердотопливных ТЭ в режимах самоувлажнения показывают возможность дальнейшего повышения удельной мощности и КПД таких систем. Для эффективной замены газотурбинных двигателей необходимо разработать



a



б

Рис. 6. Внешний вид беспилотного аппарата I-401 В (а) и гондола в разрезе (б)

специальные облегченные батареи ТЭ и периферийные устройства к ним для того, чтобы поднять уровень удельной мощности всей энергоустановки до 1,5 кВт/кг. Масса энергоустановки при мощности 2 МВт составит 1300 кг. Для увеличения удельной мощности, кроме снижения массы установки, нужно поднять удельную мощность МЭБ на единицу его активной поверхности.

Необходима также комплексная долговременная программа по разработке компонентов самолета как с вспомогательной, так и, возможно, с основной силовой установкой на топливных элементах. При этом следует учитывать необходимость

создания водородной инфраструктуры – водородных заправочных станций.

Для снабжения авиации жидким водородом может быть развернута автономная сеть аэродромных заправочных пунктов, где может осуществляться конверсия традиционного топлива или сетевого метана в водород (технология этого процесса достаточно хорошо отработана [7]) и ожижение или компримирования водорода.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №14-29-00111) в НИЦ «Курчатовский институт».

Литература

1. <http://www.tupolev.ru/Russian/Show.asp?SectionID=82>
2. <https://hsapps.utc.com/powersystems/products/aps2000pds.htm>
3. <http://www.aerosila.ru/>
4. http://www.horizonfuelcell.com/fuel_cell_stacks.htm
5. <http://www.onr.navy.mil/Media-Center/Fact-Sheets/Ion-Tiger.aspx>
6. **Renouard-Vallet G., Saballus M., Schmithals G., Schirmer J., Kallo J.** Improving the environmental impact of civil aircraft by fuel cell technology: concepts and technological progress // *Energy & Environmental Science*. – 2010. – 3. – P. 1458-1468
7. <http://www.nasa.gov/centers/dryden/news/ResearchUpdate/Helios/>
8. <http://www.geliymash.ru/products>
9. <http://www.airwar.ru/enc/craft/an24.html>
10. **Козлов А.И Фатеев В.Н.** Водородная энергетика. Современное состояние, проблемы, перспективы. – М.: ВНИИГАЗ, 2009. – 560 с.
11. **Grigoriev S.A., Kalinnikov A.A., Fateev V.N., Wragg A.A.** Numerical optimization of bipolar plates and gas diffusion layers for PEM fuel cells // *Journal of Applied Electrochemistry*. – 2006. – 36:991–996.
12. **Grigoriev S.A., Kalinnikov A.A., Fateev V.N., Wragg A.A.** Numerical optimization of bipolar plates and gas diffusion layers for PEM fuel cells // *Journal of Applied Electrochemistry*. – 2006. – 36:991–996.
13. **Баранов И.Е., Калинин А.А., Коробцев С.В. и др.** Силовые установки для БПЛА на топливных элементах: перспективы применения // *Энергия: экономика, техника, экология*. – 2014. – № 4. – С. 31-36.

Опыт создания систем газоподготовки для газовых локомотивов, работающих на СПГ

Результаты предварительных испытаний в условиях эксплуатации

В.Ф. Руденко, заслуженный конструктор РФ, к.т.н.

Статья посвящена проблеме повышения устойчивости работы систем газоподготовки при относительно длительной эксплуатации магистральных и маневровых локомотивов, использующих сжиженный природный газ в качестве моторного топлива. Рассмотрены механизмы образования пробок в арматуре и трубопроводах как при работе систем, так и при заправках вследствие наличия примесей в СПГ. Приведены меры по устранению причин отказов оборудования систем газоподготовки, обеспечившие удовлетворительную работу при наличии в СПГ до 8...10 % примесей.

Ключевые слова:

сжиженный природный газ (СПГ), газотурбинный двигатель (ГТД), газотурбовоз, газопоршневой двигатель (ГПД).

Важнейшим показателем применения моторного топлива, кроме цены и доступности, является стабильность работы топливной системы и двигателя в реальных условиях эксплуатации. Техничко-экономические показатели сильно зависят от так называемого коэффициента технической готовности. Для транспорта, использующего нефтяные топлива, в частности, железнодорожного, он равен примерно 95 %, то есть из годового бюджета времени лишь 5 % приходится на ремонты, заправку и техническое обслуживание. При применении СПГ эти технологические процессы существенно зависят от состава СПГ и способности криогенного и газового оборудования транспортной единицы работать при наличии приемлемого количества примесей. Здесь есть две крайности: очищать СПГ до гарантированных 99,4 % метана, как это

делала фирма Liquid Carbonic (пионер в применении СПГ на тяжелых грузовиках в США), либо использовать СПГ с содержанием метана от 92 % и выше с полным отогревом криогенной системы (как делают на метановозах).

Обе крайности в значительной степени определяют экономические показатели применения СПГ как моторного топлива на транспорте. Опыт Liquid Carbonic показал, что приемлемые показатели получаются при значительных налоговых льготах и заправках грузовиков на производственных площадях фирмы. Наш же опыт показал, что можно использовать СПГ с относительно большим содержанием примесей (до 10 %). Для этого найдены варианты систем газоподготовки с давлением выше 2 МПа производительностью до 2,5 т/ч (газ для газотурбинного двигателя НК361 мощностью 8,5 МВт) и безнасосных систем с давлением около 0,3 МПа производительностью до 0,25 т/ч

(для газопоршневого двигателя ГДГ800 мощностью 800 кВт). При этом системы малочувствительны к ШФЛУ, не требуют частых отогревов, однако чувствительность к содержанию CO_2 все еще довольно высока, особенно при заправке.

На газотурбовозе ГТ1-001 с турбиной НК361 изначально была применена пневмогидравлическая схема регазификации с двумя последовательными насосами, подобная системе

регазификации самолета ТУ156. Необходимость термостатирования за счет сброса метана в атмосферу, большое количество захлаживаемого оборудования, особенности режимов работы газотурбовоза (рис. 1) и частые заправки вызывали деградацию свойств СПГ (рост процентного содержания примесей). Кроме того, отмечалось снижение статического давления (при движении СПГ в трубопроводах и арматуре) ниже

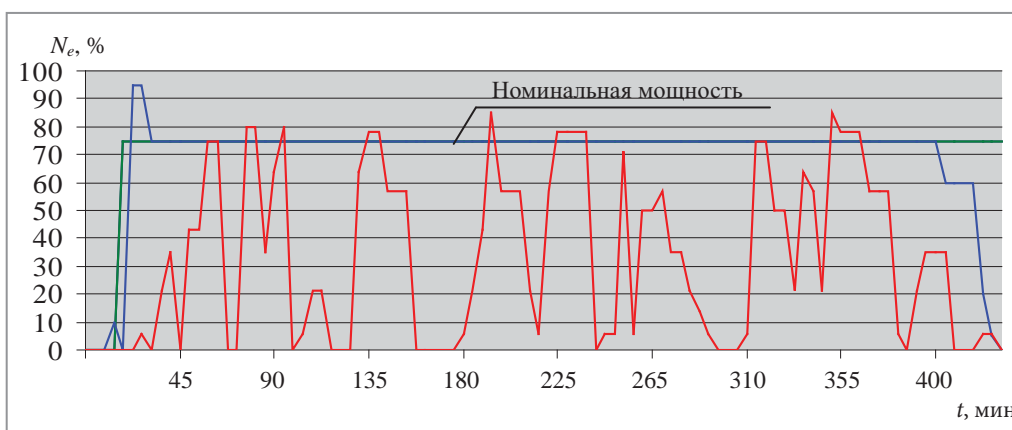


Рис. 1. Режимы работы ГТД (N_e – мощность генератора):

- авиадвигатель (время работы на номинальной мощности 76,5 %, на холостом ходу 3%);
- двигатель газоперекачивающей установки (время работы на номинальной мощности 98,6%, на холостом ходу 1%);
- локомотивный двигатель (время работы на номинальной мощности 16,7%, на холостом ходу 30,2%)

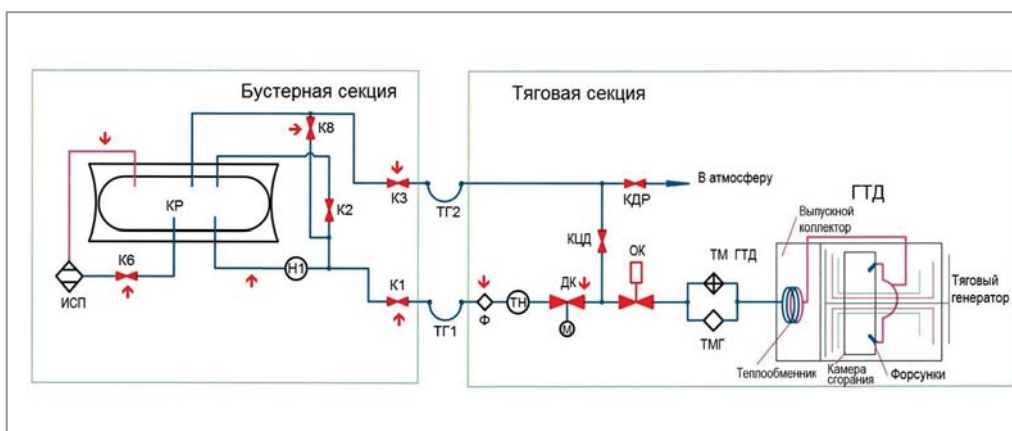


Рис. 2. Упрощенная исходная пневмогидравлическая схема газоподготовки газотурбовоза ГТ1-001:

↓ – места образования пробок

давления насыщенных паров метана, метан газифицировался, концентрация CO_2 превышала предел растворимости при текущей температуре. Диоксид углерода выпадал как в арматуре, так и при возврате природного газа в подушку емкости в «холодных» трубопроводах. Это приводило к многократным отказам – кавитации насосов и/или образованию пробок (рис. 2) с последующим отоплением и перезапуском системы в течение полутора-двух часов.

Места образования пробок на газотурбозове:

- длинные криогенные трубопроводы;
- входы газовых трубопроводов в емкость (холодная зона);
- входы в динамические (центробежные) насосы;
- дифференциальные измерители высоты столба СПГ;
- конструктивные щели в арматуре (фильтры, клапаны, вентили).

Устранение:

а) технологическое

- остановка газоподготовки, отопление;

- минимизация использования атмосферного испарителя;
- наддув (при необходимости) и продувка систем в процессе и после окончания работ горячим газом;
- высокочастотные колебания дозатора жидкости;

б) конструктивное

- отказ от термостатирования (работа на переохлажденной жидкости);
- минимизация сброса метана через БДУ, введение душевания;
- отказ от работы на газе из подушки;
- минимизация захлаживания оборудования;
- по возможности поддержание полного давления в трубопроводе, которое должно быть существенно выше давления насыщенных паров метана;
- применение насосов объемного типа, повышенная теплоизоляция на входе насосов и интенсивный дренаж;
- перенос дозатора и топливного фильтра на «теплый» участок;
- прямые измерения массы СПГ;
- преимущественное использование шаровой запорной арматуры;
- использование щелевой арматуры преимущественно на газе.

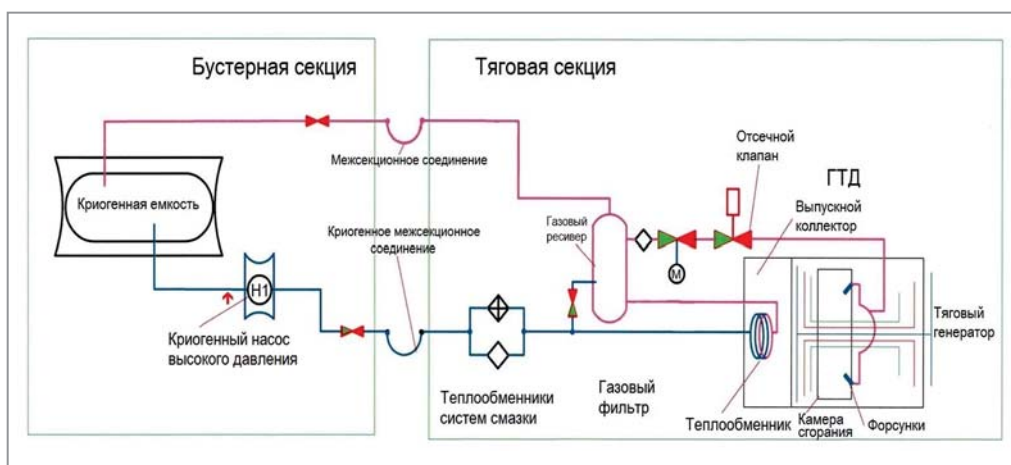


Рис. 3. Упрощенная модернизированная пневмогидравлическая схема газоподготовки газотурбозова ГТ1h-001:

↓ – место образования пробок

Перечисленные технологические меры позволили осуществить предварительные испытания газотурбовоза ГТ1-001, после чего проведена коренная модернизация локомотива, в том числе и системы газоподготовки (рис. 3).

Проведенная модернизация позволила повторно пройти предварительные испытания в условиях эксплуатации на Свердловской железной дороге, хотя и эпизодически наблюдалось начало образования пробки в трубопроводе подачи СПГ в насос. Этот процесс уверенно обнаруживается температурным датчиком непрерывности потока. Для восстановления работы системы достаточно перевести ГТД в режим холостого хода с остановкой насоса и работой на ПГ из ресивера. Объем запасенного в нем газа позволяет работать ГТД более 5 мин, чего вполне достаточно для восстановления нормального режима на входе насоса. В настоящее время ГТ1h-001 находится в подконтрольной эксплуатации на Свердловской железной дороге.

Положительные результаты испытаний газотурбовоза ГТ1h-001 учтены при проектировании опытного образца газотурбовоза ГТ1h-002, изготовленно-

го Людиновским тепловозостроительным заводом. На этом локомотиве были проведены мероприятия по совершенствованию системы газоподготовки – введена буферная криогенная емкость между основной емкостью и объемным насосом и исключено одно гибкое межсекционное соединение (рис. 4). Оставшееся соединение выполнено из трех П-образно соединенных гибких трубопроводов с осевыми упругими стержнями, обеспечившими гибкость трубопровода только за счет изгиба каждого элемента, поскольку он практически не влияет на ресурс работы гофрированных трубопроводов. Криогенная емкость изготовлена как танк-контейнер и установлена на фитинги с датчиками массы. Кроме того, для обеспечения пассивной безопасности и возможности использования электрооборудования локомотива не во взрывобезопасном исполнении все узлы системы газоподготовки расположены в отдельных отсеках либо на открытом воздухе.

На маневровом локомотиве ТЭМ19 с ПД ГДГ800 мощностью 800 кВт, как и в начале работ с газотурбовозом, были применены известные на тот момент

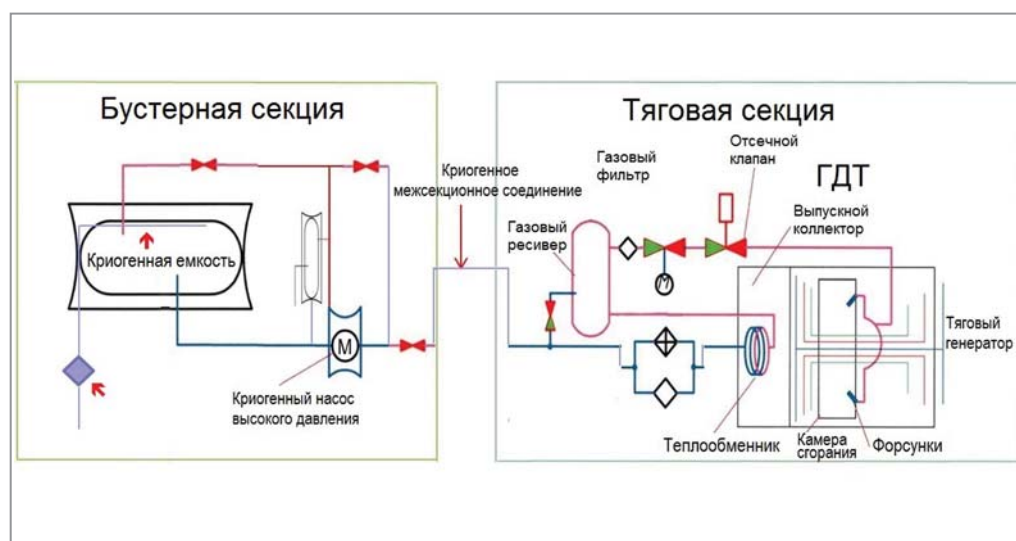


Рис. 4. Упрощенная пневмогидравлическая схема газоподготовки газотурбовоза ГТ1h-002:
 ↓ – места образования пробки

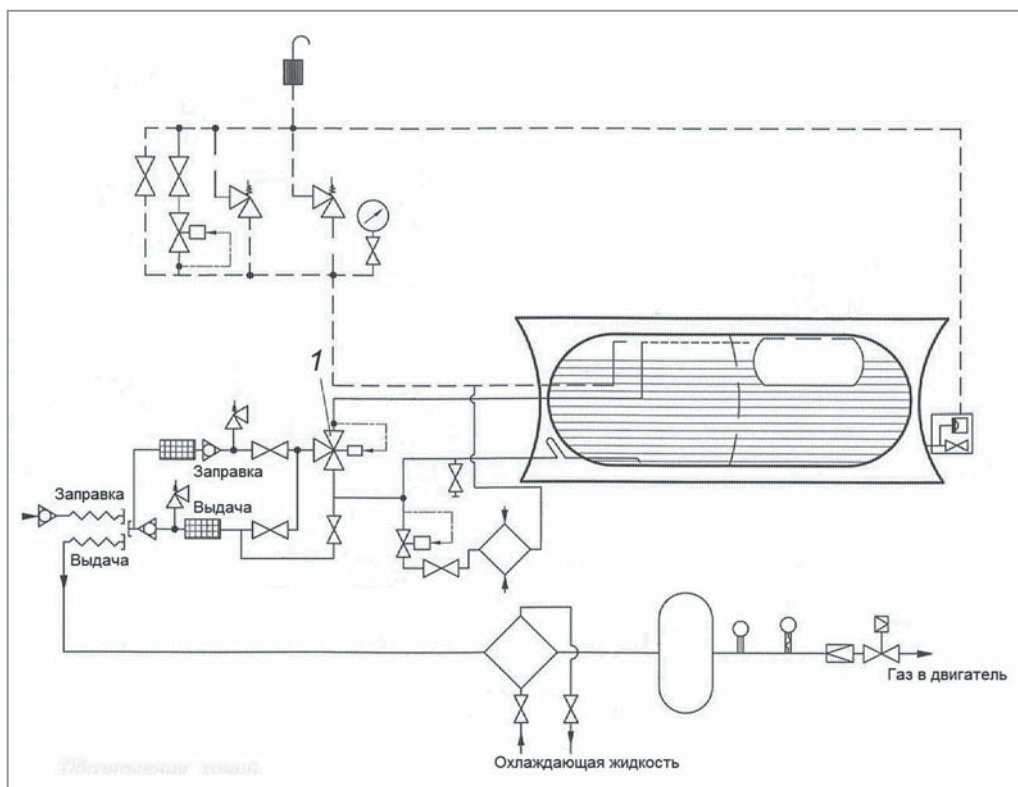


Рис. 5. Пневмогидравлическая схема газоподготовки тепловоза ТЭМ19

технические решения в системе газоподготовки (рис. 5). На нем проявилась часть проблем, более или менее решенных на газотурбовозах и связанных с наличием примесей в СПГ и его деградацией. После проведения аналогичных мероприятий они устранены. Особенно следует отметить необходимость удаления фазового переключателя (см. рис. 5, поз. 1), часто рекомендуемого различными источниками, поскольку он главная причина деградации СПГ.

Длительная работа маневрового локомотива на холостом ходу и частичных режимах даже при тяжелой работе на сортировочной горке (рис. 6) проявила еще один механизм образования пробок в холодной части трубопровода выдачи СПГ вследствие авторегулирования расхода. Дело в том, что расход газа газопоршневым двигателем ГДГ800 на холостом ходу в 8 раз мень-

ше номинального (у быстроходных автомобильных двигателей он меньше в 25 раз), и при малом расходе СПГ регазификация метана начинается уже в трубе выдачи, что может приводить к выпадению CO_2 и постепенному нарастанию пробки.

Поддержание температуры в емкости на разумном пределе по давлению и исключение фазового переключателя практически ликвидировали этот процесс в реально проверенных режимах работы. Однако полностью его можно предотвратить введением предварительного дозатора жидкости, что должно исключить регазификацию метана в теплоизолированной части трубопровода выдачи продукта внутри емкости. На газотурбовозе этого явления нет вследствие ограничения минимального расхода жидкости через поршневой насос ($\approx 30\%$) и интенсивного

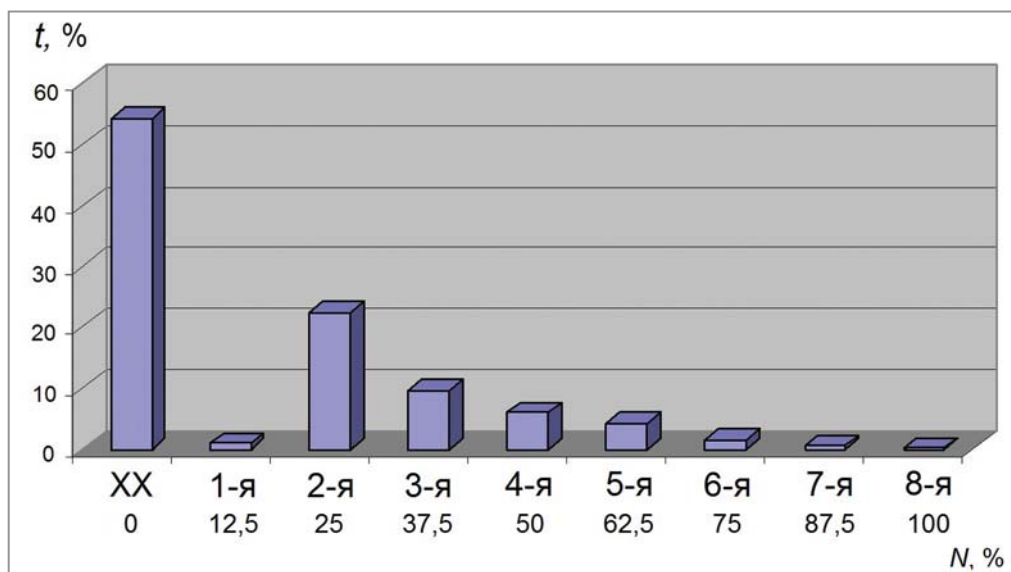


Рис. 6. Распределение времени работы по позициям контроллера (работа тепловоза на сортировочной горке):
t – время; *N* – мощность

дренирования, чем обеспечивается наличие жидкости до входа в рабочую полость насоса.

К сожалению, конструкторские и технологические мероприятия на борту транспортного средства не до конца решают проблему использования СПГ с повышенным содержанием примесей – использовать его можно, а вот заправляться без проблем не всегда удастся. Это уже зависит как от конструкции узлов заправки транспортного средства и заправочного комплекса, так и от технологии самой заправки. Например, если заправка осуществляется относительно чистым СПГ марки В по ГОСТ Р 56021–2014, то при падении температуры на 2...3 градуса ниже равновесной начнется выпадение CO_2 .

Места образования пробок при заправке:

- входной фильтр;
- приемный трубопровод (в холодной зоне);
- трубопровод душевания.

Устранение:

а) технологическое

- поддержание в заправляемой емкости давления существенно выше давления насыщенных паров метана при температуре предельной растворимости CO_2 в данной партии СПГ;
- захлаживание теплой емкости преимущественно метаном из подушки хранилища (процесс требует обработки);

б) конструктивное

- минимизация длины нетеплоизолированных гибких рукавов заправочного комплекса;
- установка стационарного фильтра большой площади с возможностью дренажа, отогрева и самоочистки;

в) организационное

- НИОКР по уточнению технологии работы заправочных комплексов и порядка выдачи продукта на них;
- внесение дополнений в ГОСТ Р 56021–2014 и ПБ 08-342–00 в части требований к заправочным комплексам.

Влияние углов опережения подачи метанола и метилового эфира рапсового масла на образование оксидов азота в цилиндре дизеля

В.А. Лиханов, профессор ФГБОУ ВПО «Вятская ГСХА», д.т.н.,
В.Н. Копчиков, инженер ФГБОУ ВПО «Вятская ГСХА»,
А.В. Фоминых, инженер ФГБОУ ВПО «Вятская ГСХА»

В статье представлены результаты исследования рабочего процесса дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле и метилом эфире рапсового масла с использованием двойной системы топливоподачи. В статье представлены графики влияния применения метанола и метилового эфира рапсового масла на образование оксидов азота в цилиндре дизеля.

Ключевые слова:

дизель, оксиды азота, альтернативное топливо, метиловый эфир рапсового масла, метанол, двойная система топливоподачи.

Хорошо известно, что транспорт почти полностью зависит от ископаемых видов топлив (в частности, на основе нефти изготавливаются бензин и дизельное топливо). Эксперты предполагают, что нынешних запасов нефти и газа хватит на несколько десятилетий. В связи с этим сегодня очень остро стоит проблема высоких цен на топливо. Не случайно в последние годы усилился интерес к получению жидких топлив из неископаемых источников.

Другой важной проблемой является вопрос загрязнения окружающей среды токсичными компонентами отработавших газов (ОГ) двигателей. В отработавших газах двигателей внутреннего сгорания содержатся вещества, обладающие токсическим и канцерогенным действием. К ним относятся оксид углерода, углеводороды различного

химического состава, образующиеся в основном при высоких температурах и давлении, а также оксиды азота, самые опасные компоненты вредных веществ в ОГ.

Эффективным способом снижения содержания в ОГ токсичных компонентов является применение альтернативных видов топлива. В связи с этим авторами на кафедре тепловых двигателей, автомобилей и тракторов Вятской ГСХА проводились испытания дизельного двигателя 2Ч 10,5/12,0, модернизированного для работы на метаноле и метилом эфире рапсового масла (МЭРМ) с использованием двойной системы топливоподачи (ДСТ). При этом штатная система топливоподачи использовалась для подачи спирта, а для подачи запальной порции эфира применялась дополнительная топливная система. Запальная порция МЭРМ фиксировалась

и не изменялась во всем диапазоне нагрузочных и скоростных режимов, а повышение нагрузки происходило путем увеличения подачи основного топлива – метанола [1].

При проведении стендовых испытаний в процессе поиска оптимальных установочных углов опережения впрыскивания топлива (УОВТ) измерялось содержание токсичных компонентов ОГ при различных углах подачи топлива. Особое внимание уделялось содержанию в ОГ оксидов азота. В связи с этим проводились исследования образования NO_x в цилиндре дизеля при различных установочных углах подачи метанола и МЭРМ. Для этого рассчитывали объемное содержание и массовую концентрацию оксидов азота в цилиндре дизеля в зависимости от угла поворота коленчатого вала (ПКВ) с использованием программы, разработанной в Ленинградском политехническом институте профессорами С.А. Багуриным и А.С. Лоскутовым [2-3]. Затем полученные данные сравнивались с работой двигателя на дизельном топливе (ДТ). А графики образования оксидов азота при различных установочных углах сравнивались с кривыми, полученными при углах подачи – метанола $\Theta_{\text{мет}}=34^\circ$ и МЭРМ $\Theta_{\text{МЭРМ}}=34^\circ$, ранее принятыми авторами за оптимальные исходя из экономических показателей работы двигателя (рис. 1).

Как видно из рис. 1, объемное содержание оксидов азота в момент открытия выпускного клапана при работе на метаноле составляет $r_{\text{NO}_x}=423$ ppm, что значительно ниже, чем при работе на дизельном топливе. При работе на ДТ $r_{\text{NO}_x}=726$ ppm. Снижение составило 41,7 %. В то же время максимальное содержание оксидов азота при работе на ДТ составляет $r_{\text{NO}_x}=872$ ppm, а при работе на метаноле $r_{\text{NO}_x}=473$ ppm.

На рис. 2, 3 приведены те же зависимости образования оксидов азота при работе двигателя на неоптимальных установочных УОВТ.

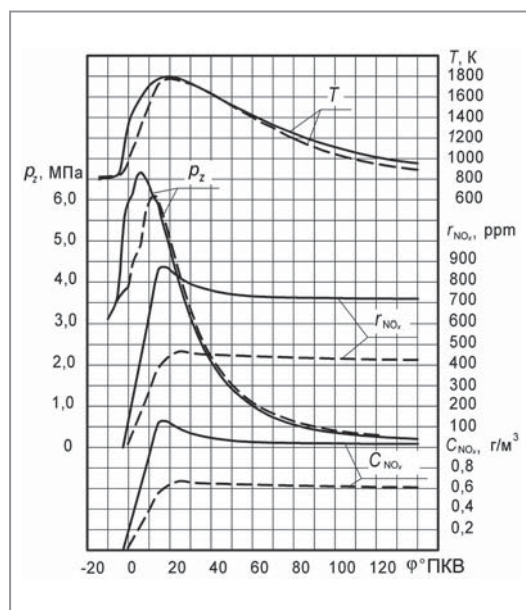
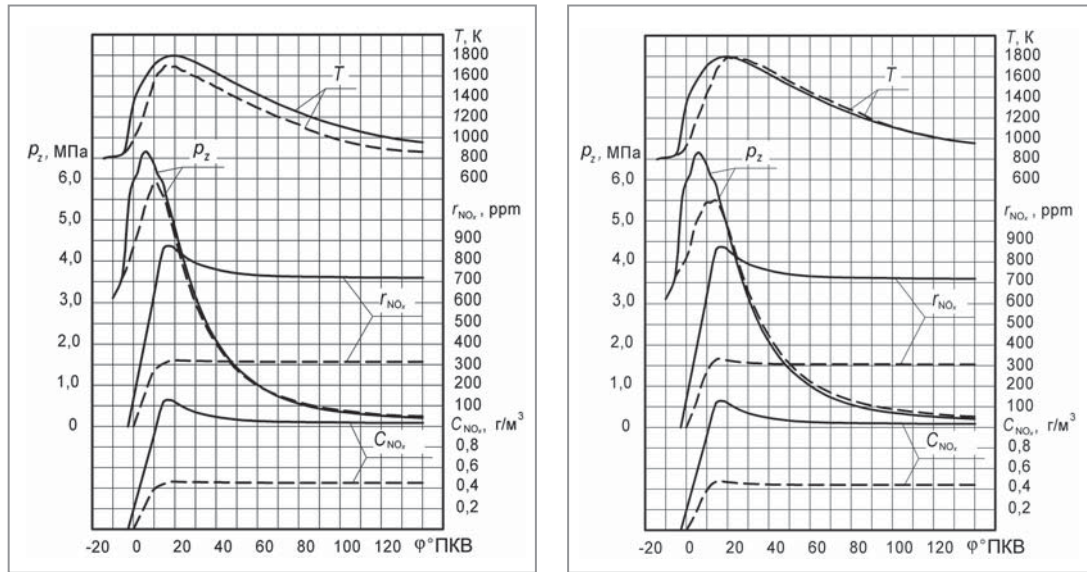


Рис. 1. Влияние применения метанола и МЭРМ на процесс сгорания, объемное содержание и массовую концентрацию оксидов азота в цилиндре дизеля 2Ч 10,5/12,0 в зависимости от изменения угла ПКВ двигателя при $n=1800$ мин⁻¹, $p_e=0,588$ МПа и оптимальных установочных УОВТ ($\Theta_{\text{мет}}=34^\circ$ и $\Theta_{\text{МЭРМ}}=34^\circ$): — дизельный процесс; - - - метанол с запальным МЭРМ

Из рис. 2, 3 мы видим, что изменение установочных УОВТ оказывает значительное влияние на образование и содержание в ОГ оксидов азота. При этом можно наблюдать, что более ранняя подача каждого из двух топлив приводит к росту максимальных давления и температуры в цилиндре, что приводит к увеличению оксидов азота в ОГ при работе на метаноле с ДСТ.

Согласно расчетным данным в момент открытия выпускного клапана были получены следующие значения объемной концентрации оксидов азота при работе на метаноле и МЭРМ с использованием ДСТ: $r_{\text{NO}_x}=312$ ppm при $\Theta_{\text{мет}}=30^\circ$ и $\Theta_{\text{МЭРМ}}=34^\circ$; $r_{\text{NO}_x}=304$ ppm при $\Theta_{\text{мет}}=34^\circ$ и $\Theta_{\text{МЭРМ}}=30^\circ$; $r_{\text{NO}_x}=592$ ppm при $\Theta_{\text{мет}}=34^\circ$ и $\Theta_{\text{МЭРМ}}=38^\circ$; $r_{\text{NO}_x}=603$ ppm при $\Theta_{\text{мет}}=38^\circ$ и $\Theta_{\text{МЭРМ}}=34^\circ$.



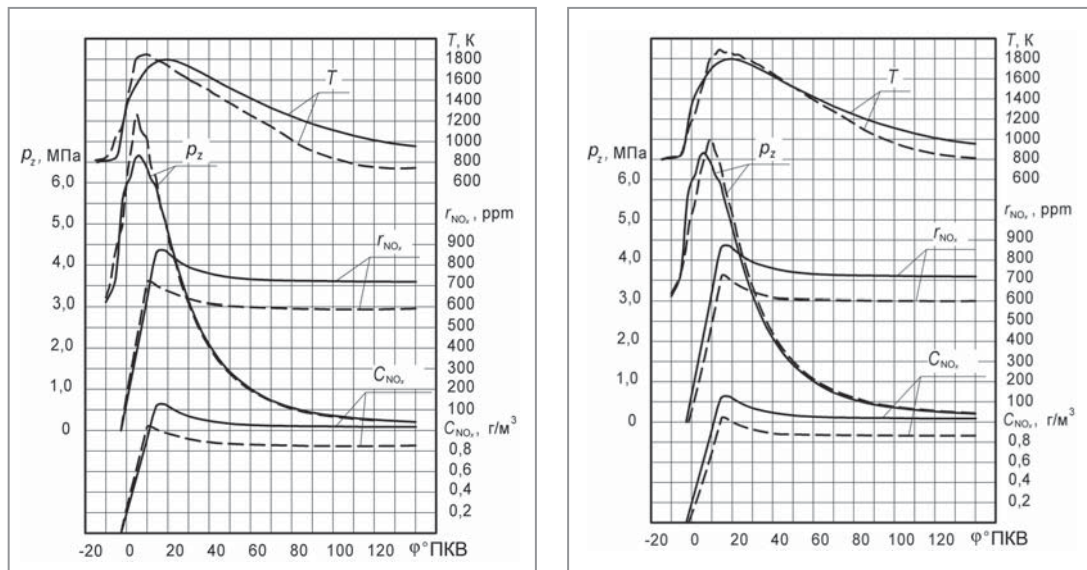
а

б

Рис. 2. Влияние применения метанола и МЭРМ на процесс сгорания, объемное содержание и массовую концентрацию оксидов азота в цилиндре дизеля 2Ч 10,5/12,0 в зависимости от изменения угла ПКВ двигателя при $n=1800 \text{ мин}^{-1}$, $p_e=0,588 \text{ МПа}$ и неоптимальных установочных УОВТ:

а – при $\Theta_{\text{мет}}=30^\circ$ и $\Theta_{\text{МЭРМ}}=34^\circ$; б – при $\Theta_{\text{мет}}=34^\circ$ и $\Theta_{\text{МЭРМ}}=30^\circ$;

— дизельный процесс; - - - метанол с запальным МЭРМ



а

б

Рис. 3. Влияние применения метанола и МЭРМ на процесс сгорания, объемное содержание и массовую концентрацию оксидов азота в цилиндре дизеля 2Ч 10,5/12,0 в зависимости от изменения угла ПКВ двигателя при $n=1800 \text{ мин}^{-1}$, $p_e=0,588 \text{ МПа}$ и неоптимальных установочных УОВТ:

а – при $\Theta_{\text{мет}}=34^\circ$ и $\Theta_{\text{МЭРМ}}=38^\circ$; б – при $\Theta_{\text{мет}}=38^\circ$ и $\Theta_{\text{МЭРМ}}=34^\circ$;

— дизельный процесс; - - - метанол с запальным МЭРМ

Таким образом, можно сделать вывод, что применение метанола в сочетании с МЭРМ позволяет значительно снизить выбросы наиболее токсичного компонента ОГ – оксидов азота при всех рассмотренных установочных УОВТ в сравнении с ДТ. При оптимальных установочных УОВТ, согласно расчетным данным, снижение выбросов достигает 41,7 % при работе на номинальном режиме.

Литература

1. **Лиханов В.А., Попов В.М.** Работа дизеля на метаноле с двойной системой топливоподачи // Двигателестроение. – 1986. – № 8. – С. 47.
2. **Лиханов В.А.** Улучшение эксплуатационных показателей тракторных дизелей путем применения альтернативных топлив: дисс. докт. техн. наук. – Киров, 1999.
3. **Лиханов В.А., Лопатин О.П., Анфилатов А.А.** Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизеля путем применения метанола с использованием двойной системы топливоподачи // Тракторы и сельхозмашины. – 2012. – № 5. – С. 5-8.

Заседание в Газпроме по вопросам охраны окружающей среды и энергоэффективности

В ОАО «Газпром» состоялось заседание Координационного комитета по вопросам охраны окружающей среды и энергоэффективности, которое провел заместитель председателя правления компании, руководитель комитета Виталий Маркелов.

Участники заседания, среди которых были руководители профильных подразделений и дочерних обществ компании, обсудили итоги природоохранной деятельности Газпрома в 2014 г. Была отмечена системная работа по минимизации воздействия на окружающую среду. Ее результатом стало, в частности, снижение выбросов загрязняющих веществ в атмосферу по сравнению с 2013 г. на 9,1 %, парниковых газов – на 9 %.

Как и в предыдущие годы, компания последовательно сокращала расход топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) на собственные нужды. Основная экономия ТЭР была достигнута за счет модернизации имеющихся мощностей и внедрения энергосберегающих технологий. В результате экономия ТЭР в 2014 г. составила 2,51 млн т у.т., в том числе природного газа – более 2 млрд м³; электроэнергии – 254,6 млн кВт/ч; тепловой энергии – 237,2 тыс. Гкал. Общая стоимость сэкономленных ресурсов в ценах прошлого года составила 7,14 млрд руб.

Было также отмечено, что чрезвычайно важной составной частью экологической работы Газпрома является расширение использования природного газа в качестве моторного топлива. В 2014 г. компания активно вела подготовку к строительству в России новых объектов газомоторной инфраструктуры – завершены проектно-изыскательские работы по сооружению 21 АГНКС в 13 регионах РФ.

Компания продолжала работу по переводу на газ собственного автопарка – в 2014 г. дочерние организации Газпрома приобрели 1674 ед. газомоторной автомобильной техники. В результате общее число автомобилей, работающих на газе, в автопарке Группы было увеличено до 6522.

Участники заседания подвели итоги Года экологической культуры, объявленного Газпромом в прошлом году. В 3,5 тыс. городах и населенных пунктах по всей России и в Белоруссии компанией было организовано свыше 20 тыс. мероприятий, в которых приняли участие 362,7 тыс. человек – сотрудники Газпрома и его дочерних обществ, а также студенты и школьники.

В ходе заседания состоялось награждение почетными грамотами и благодарностями ОАО «Газпром» коллективов дочерних обществ, принявших наиболее активное участие в проведении Года экологической культуры: «Газпром добыча Уренгой», «Газпром трансгаз Беларусь», «Газпром трансгаз Екатеринбург», «Газпром трансгаз Казань», «Газпром трансгаз Краснодар», «Газпром трансгаз Москва», «Газпром трансгаз Ставрополь», «Газпром трансгаз Томск», «Газпром трансгаз Чайковский», «Газпром трансгаз Югорск».

Управление информации ОАО «Газпром»

Экспериментальные исследования дизеля, работающего на смесях нефтяного дизельного топлива и льняного масла

В.А. Марков, профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана, д.т.н.,
С.Н. Девянин, профессор, зав. кафедрой МГАУ им. В.П. Горячкина, д.т.н.,
Л.В. Спиридонова, доцент МАДГТУ «МАДИ», к.т.н.

Рассмотрены особенности применения в дизелях биотоплив, получаемых с использованием льняного масла. Представлены результаты экспериментальных исследований дизеля типа Д-245.12С, работающего на смесях дизельного топлива и льняного масла. Показана зависимость показателей топливной экономичности и токсичности отработавших газов от состава смесевое биотоплива.

Ключевые слова:

дизельный двигатель, дизельное топливо,
льняное масло, смесевое биотопливо.

Современный этап развития двигателестроения характеризуется все более широким использованием альтернативных моторных топлив [1]. Выбор того или иного вида топлива обусловлен, в первую очередь, наличием значительной сырьевой базы для его производства. При сельскохозяйственном производстве часто образуются побочные продукты, которые могут быть использованы для выработки альтернативных моторных топлив. Такими, например, являются растительные масла (подсолнечное, рапсовое, соевое), остающиеся после получения белковых кормов для крупного рогатого скота.

Другим примером комплексного использования сельскохозяйственной продукции является выращивание льна, волокно которого идет на изготовление разнообразных тканей, а из семян вырабатывается льняное масло (ЛМ).

Это масло используется как пищевое (некоторые требования к показателям его качества приведены в ТУ 9141-002-55854031-03 «Масло льняное пищевое»). В то же время льняное масло является одним из лучших высыхающих масел и имеет большое техническое применение.

Привлекательность указанных сырьевых баз для производства моторных топлив обусловлена сравнительно невысокой ценой получаемых растительных масел и возобновляемостью данного сырьевого ресурса [1, 2].

Лен обыкновенный (культурный или посевной – *Linum usitatissimum*) представляет собой однолетнее (иногда озимое) растение семейства льновых. Эта сельскохозяйственная культура является традиционной для России. Известно около 20 сортов этого растения. Наибольшее распространение получили три разновидности льна: лен-долгунец,

который отличается волокном высоко-го качества; лен-кудряш, используемый в основном как масличная культура; лен-межеумок (промежуточный), который является маслично-волокнистой культурой. В семенах современных сортов масличного льна содержится до 50 % и более растительного масла.

Возможность использования растительных масел в качестве моторных топлив определяется составом и строением их молекул. Эти масла состоят главным образом (на 95...97 %) из триацилглицеридов (рис. 1) – органических соединений, сложных эфиров глицерина и различных жирных кислот, а также моно- и диацилглицеридов. Ацилглицериды, в свою очередь, содержат молекулы различных жирных (карбоновые) кислот, связанных с молекулой глицерина $C_3H_5(OH)_3$ [1-3]. Растительные масла содержат в основном жирные кислоты с четным числом атомов углерода

(например, C_{14} , C_{16} , C_{18} и др.). При этом в состав растительных масел входят как ненасыщенные жирные кислоты (олеиновая, линолевая, линоленовая и др.), так и насыщенные (миристиновая, пальмитиновая, стеариновая и др.). Молекулы насыщенных жирных кислот не имеют двойных связей, а в ненасыщенных присутствуют одна-три двойные связи.

Жирнокислотный состав льняного масла несколько отличается от аналогичного состава наиболее распространенного в России подсолнечного масла (табл. 1) [3]. Так, если подсолнечное масло богато линолевой кислотой, то льняное масло – линоленовой кислотой, имеющей три ненасыщенные связи. Поэтому льняное масло менее стабильно в окислительных процессах по сравнению с подсолнечным [3, 4]. Низкая окислительная стабильность (высокая окисляемость) льняного масла обуславливает его ограниченное время

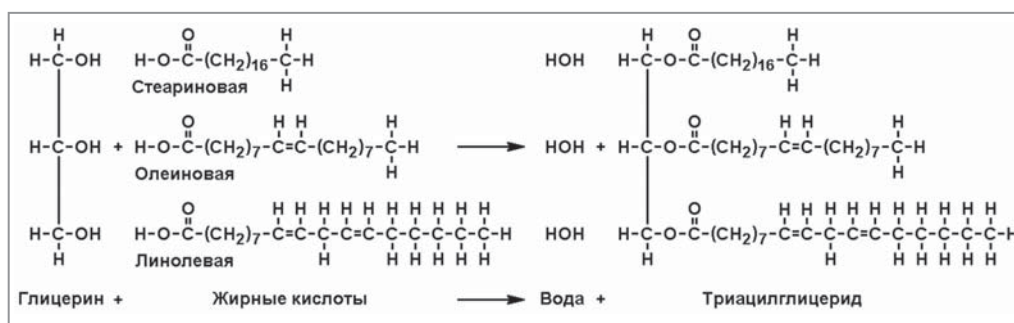


Рис. 1. Схема образования триацилглицеридов, входящих в состав растительных масел

Таблица 1

Жирнокислотный состав подсолнечного и льняного масел

| Масла | Массовая доля жирных кислот растительных масел | | | | | |
|--------------|---|--|--|--|--|--|
| | Миристиновая $C_{14}H_{28}O_2$ или C 14:0 | Пальмитиновая $C_{16}H_{32}O_2$ или C 16:0 | Стеариновая $C_{18}H_{36}O_2$ или C 18:0 | Олеиновая $C_{18}H_{34}O_2$ или C 18:1 | Линолевая $C_{18}H_{32}O_2$ или C 18:2 | Линоленовая $C_{18}H_{30}O_2$ или C 18:3 |
| Подсолнечное | До 0,2 | 5,6...7,6 | 2,7...6,5 | 14,0...39,4 | 18,3...74,0 | До 0,2 |
| Льняное | 5,4...11,3 | 2,5...8,0 | 0,4...1,0 | 13,0...36,0 | 8,3...30,0 | 30,0...67,0 |

Примечание: после названия жирной кислоты приведены формула состава и условная формула состава, в которой первая цифра соответствует числу атомов углерода, а вторая – числу двойных связей в молекуле.

хранения. Если срок хранения подсолнечного нерафинированного масла составляет 38 недель, то у льняного нерафинированного – лишь 26 недель. Но при этом просроченное льняное масло может быть использовано в качестве моторного топлива.

Целью предлагаемого исследования являлся анализ показателей автотракторного дизельного двигателя, работающего на смесях нефтяного дизельного топлива (ДТ) и льняного масла. При этом исследовано льняное нерафинированное масло производства ООО «Аромавита» (Московская обл., Подольский р-н, п. Курилово), а также его смеси с нефтяным ДТ марки Л по ГОСТ 305–82, содержащие 5 и 9 % (по объему) льняного масла. Некоторые физико-химические свойства дизельного топлива, льняного

масла и указанных смесей представлены в табл. 2.

По сравнению с нефтяным ДТ льняное масло отличается заметно большими плотностью и вязкостью. Поэтому целесообразна работа дизеля на смесях ДТ и ЛМ. Эти компоненты хорошо смешиваются между собой, образуя стабильные смеси. Причем путем подбора состава смесевое топливо можно достичь приемлемых физических свойств смеси. Рассматриваемые смесевые биотоплива, содержащее 5 и 9 % ЛМ, также имеют повышенные плотность и вязкость, но эти его свойства более близки к аналогичным свойствам ДТ. Так, плотности смесевое биотоплива, содержащего 9 % ЛМ, и ДТ равны соответственно 837 и 830 кг/м³, а их вязкости – 6,0 и 3,8 мм²/с (см. табл. 2). Такие отличия физических

Таблица 2

Физико-химические свойства исследуемых топлив

| Физико-химические свойства | Топлива | | | |
|--|---------|-------|------------------------|------------------------|
| | ДТ | ЛМ | Смесь 95 % ДТ и 5 % ЛМ | Смесь 91 % ДТ и 9 % ЛМ |
| Плотность при 20 °С, кг/м ³ | 830 | 912 | 834 | 837 |
| Вязкость кинематическая, мм ² /с | | | | |
| при 20 °С | 3,8 | 59,6 | 4,5 | 6,0 |
| при 40 °С | 2,3 | 23,9 | – | – |
| Коэффициент поверхностного натяжения σ при 20 °С, мН/м | 27,1 | 30,0 | – | – |
| Теплота сгорания низшая, кДж/кг | 42500 | 37600 | 42200 | 42000 |
| Цетановое число | 45 | 38 | – | – |
| Температура самовоспламенения, °С | 250 | 300 | – | – |
| Температура помутнения, °С | –25 | –12 | – | – |
| Температура застывания, °С | –35 | –20 | – | – |
| Количество воздуха, необходимое для сгорания 1 кг вещества, кг | 14,3 | 12,62 | 14,23 | 14,16 |
| Содержание, % по массе | | | | |
| С | 87,0 | 77,8 | 86,54 | 86,17 |
| Н | 12,6 | 12,0 | 12,57 | 12,55 |
| О | 0,4 | 10,2 | 0,89 | 1,28 |
| Общее содержание серы, % по массе | 0,20 | 0,002 | 0,190 | 0,182 |

Примечание: «–» – свойства не определялись; для смесей указано объемное процентное содержание компонентов.

свойств ЛМ, а также его смесей с ДТ, от свойств нефтяного дизельного топлива оказывают влияние на параметры процесса топливоподачи, распыливание топлива и смесеобразование. Указанные смесевые биотоплива отличаются от нефтяного ДТ и по ряду других физико-химических свойств – температуре самовоспламенения, цетановому числу, теплотворной способности (нижняя теплота сгорания) и др. Все эти факторы сказываются на показателях топливной экономичности и токсичности отработавших газов (ОГ) дизеля, работающего на указанных топливах.

Следует также отметить, что среди растительных масел льняное и рапсовое масла имеют наилучшие низкотемпературные свойства (температура застывания $t_3 = -20$ °С). Но все-таки такая температура застывания является более высокой по сравнению с температурой застывания нефтяного ДТ ($t_3 = -35$ °С). Это необходимо учитывать при зимней эксплуатации транспортных средств, работающих на топливах, содержащих эти растительные масла.

Известен ряд работ, посвященных использованию льняного масла в качестве моторного топлива для дизельных

Таблица 3

Некоторые параметры дизеля типа Д-245.12С (4 ЧН 11/12,5)

| Параметры | Значение |
|--|--|
| Тип двигателя | Четырехтактный, рядный, дизельный |
| Число цилиндров | 4 |
| Диаметр цилиндра D , мм | 110 |
| Ход поршня S , мм | 125 |
| Общий рабочий объем iV_h , л | 4,32 |
| Степень сжатия ϵ | 16,0 |
| Система турбонаддува | Турбокомпрессор ТКР-6 Борисовского завода автоагрегатов |
| Тип камеры сгорания, способ смесеобразования | Камера сгорания типа ЦНИДИ, объемно-пленочное смесеобразование |
| Номинальная частота вращения n , мин ⁻¹ | 2400 |
| Номинальная мощность N_e , кВт | 80 |
| Механизм газораспределения | Клапанного типа с верхним расположением клапанов |
| Система охлаждения | Водяная, принудительная |
| Система смазки | Принудительная, с разбрызгиванием |
| Фильтр масляный | Сетчатый |
| Насос масляный | Шестеренчатый |
| Система питания | Разделенного типа |
| Топливный насос высокого давления (ТНВД) | Рядный типа PP4M10U1f фирмы Motorpal с всережимным центробежным регулятором |
| Диаметр плунжеров ТНВД $d_{пл}$, мм | 10 |
| Ход плунжеров ТНВД $h_{пл}$, мм | 10 |
| Длина нагнетательных топливопроводов L_r , мм | 540 |
| Форсунки | Типа ФДМ-22 производства ОАО «Куроаппаратура» (г. Вильнюс) |
| Распылители форсунок | Фирмы Motorpal типа DOP 119S534 с пятью сопловыми отверстиями диаметром $d_p = 0,34$ мм и проходным сечением $\mu_p f_p = 0,250$ мм ² |
| Давление начала впрыскивания форсунок $p_{ф}$, МПа | 21,5 |

двигателей как в чистом виде [5-7], так и после выработки из него метилового эфира [8-11]. Причем в связи с указанными отличиями физико-химических свойств ЛМ от аналогичных свойств нефтяного ДТ целесообразна работа дизелей на их смесях.

Вместе с тем вопрос о применении смесей ДТ и ЛМ в качестве топлива для отечественных автотракторных дизелей является недостаточно изученным. Для подтверждения возможности использования этих смесей в качестве моторного топлива проведены экспериментальные исследования дизеля типа Д-245.12С (4ЧН 11/12,5) Минского моторного завода, устанавливаемого на малотоннажные грузовые автомобили ЗиЛ-5301 «Бычок», а также на автобусы Павловского автобусного завода (ПАЗ) и тракторы «Беларусь» (табл. 3).

Дизель исследован на моторном стенде АМО «ЗиЛ» на режимах внешней скоростной характеристики и 13-ступенчатого испытательного цикла Правил 49 ЕЭК ООН. Настройки дизеля по установочному углу опережения впрыскивания топлива (13° поворота коленчатого вала до ВМТ) и положению упора дозирующей рейки (упор максимальной подачи топлива) оставались неизменными при использовании всех рассматриваемых видов топлива. Моторный стенд был оборудован комплектом необходимой измерительной аппаратуры. Дымность ОГ измерялась с помощью ручного дымомера МК-3 фирмы Hartridge (Великобритания) с погрешностью измерения $\pm 1\%$. Концентрации NO_x , CO , CH в ОГ определялись газоанализатором SAE-7532 японской фирмы Yanaco с погрешностями измерения указанных компонентов $\pm 1\%$.

На первом этапе исследований проведены испытания дизеля типа Д-245.12С на чистом дизельном топливе и на смеси 91 % ДТ и 9 % ЛМ на режимах внешней скоростной характеристики (рис. 2). Как отмечено выше,

исследуемое смесевое биотопливо имеет физические свойства, приближающиеся к свойствам ДТ. Но его плотность и вязкость все-таки несколько выше аналогичных свойств ДТ (см. табл. 2). Поэтому при переходе от ДТ к смесевому биотопливу отмечено небольшое увеличение часового расхода топлива G_T и некоторое уменьшение коэффициента избытка воздуха α . Однако крутящий момент двигателя M_e и его эффективная мощность N_e изменились незначительно (см. рис. 2 и табл. 4).

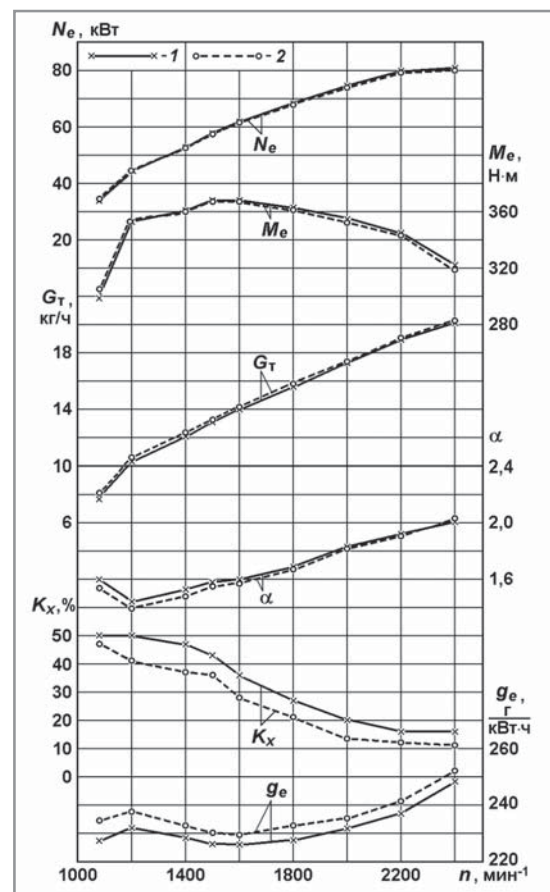


Рис. 2. Зависимость эффективной мощности N_e , крутящего момента M_e , часового расхода топлива G_T , коэффициента избытка воздуха α , дымности ОГ K_x и удельного эффективного расхода топлива g_e дизеля типа Д-245.12С от частоты вращения n коленчатого вала на режимах ВСХ при использовании различных топлив: 1 – ДТ; 2 – смесь 91% ДТ и 9% ЛМ

Таблица 4

Показатели дизеля типа Д-245.12С, работающего на различных топливах

| Показатели дизеля | Вид топлива | | |
|--|-------------|------------------------|------------------------|
| | ДТ | Смесь 95 % ДТ и 5 % ЛМ | Смесь 91 % ДТ и 9 % ЛМ |
| Часовой расход топлива, кг/ч | | | |
| на режиме максимальной мощности | 20,10 | 20,18 | 20,24 |
| на режиме максимального крутящего момента | 13,10 | 13,13 | 13,28 |
| Крутящий момент дизеля, Н·м | | | |
| на режиме максимальной мощности | 322 | 321 | 319 |
| на режиме максимального крутящего момента | 368 | 366 | 367 |
| Удельный эффективный расход топлива, г/(кВт·ч) | | | |
| на режиме максимальной мощности | 248,4 | 250,8 | 252,1 |
| на режиме максимального крутящего момента | 226,2 | 228,9 | 230,1 |
| Эффективный КПД дизеля | | | |
| на режиме максимальной мощности | 0,341 | 0,340 | 0,340 |
| на режиме максимального крутящего момента | 0,374 | 0,373 | 0,373 |
| Дымность ОГ, % по шкале Хартриджа | | | |
| на режиме максимальной мощности | 16,0 | 12,0 | 11,0 |
| на режиме максимального крутящего момента | 43,0 | 37,5 | 36,0 |
| Интегральные на режимах 13-ступенчатого цикла | | | |
| эффективный расход топлива, г/(кВт·ч) | 247,97 | 248,72 | 252,26 |
| эффективный КПД | 0,341 | 0,343 | 0,340 |
| Интегральные на режимах 13-ступенчатого цикла | | | |
| удельные массовые выбросы, г/(кВт·ч) | | | |
| оксидов азота | 7,018 | 6,230 | 6,441 |
| монооксида углерода | 1,723 | 1,631 | 1,511 |
| несгоревших углеводородов | 0,788 | 0,695 | 0,664 |

В то же время из-за наличия в молекулах ЛМ атомов кислорода теплотворная способность смесового биотоплива была несколько ниже теплотворной способности ДТ. Это привело к тому, что при использовании смеси 91 % ДТ и 9 % ЛМ на большинстве исследуемых режимов удельный эффективный расход топлива g_e оказался несколько выше, чем при работе на ДТ. В частности, при переходе с ДТ на смесовое биотопливо на режиме максимальной мощности с частотой вращения коленчатого вала $n=2400 \text{ мин}^{-1}$ удельный эффективный расход топлива g_e увеличился от 248,4 до 252,1 г/(кВт·ч), а на режиме максимального крутящего момента при $n=1500 \text{ мин}^{-1}$ – от 226,2 до 230,1 г/(кВт·ч). Но при этом эффективный КПД дизеля η_e на этих режимах практически не изменялся (см. табл. 4).

Вместе с тем наличие в молекулах ЛМ атомов кислорода привело к заметному уменьшению дымности ОГ дизеля, работающего на смесовом биотопливе. Так, на режиме максимальной мощности при $n=2400 \text{ мин}^{-1}$ переход с ДТ на смесь 91 % ДТ и 9 % ЛМ сопровождался снижением дымности ОГ K_x от 16 до 11 % по шкале Хартриджа, а на режиме максимального крутящего момента при $n=1500 \text{ мин}^{-1}$ – от 43 до 36 % по той же шкале.

Результаты экспериментальных исследований дизеля Д-245.12С на режимах 13-ступенчатого испытательного цикла Правил 49 ЕЭК ООН представлены на рис. 3. Как отмечено выше, использование рассматриваемого смесового биотоплива привело к незначительному росту часового расхода топлива G_t (см. рис. 3а). Так, при переводе дизеля с ДТ на смесь

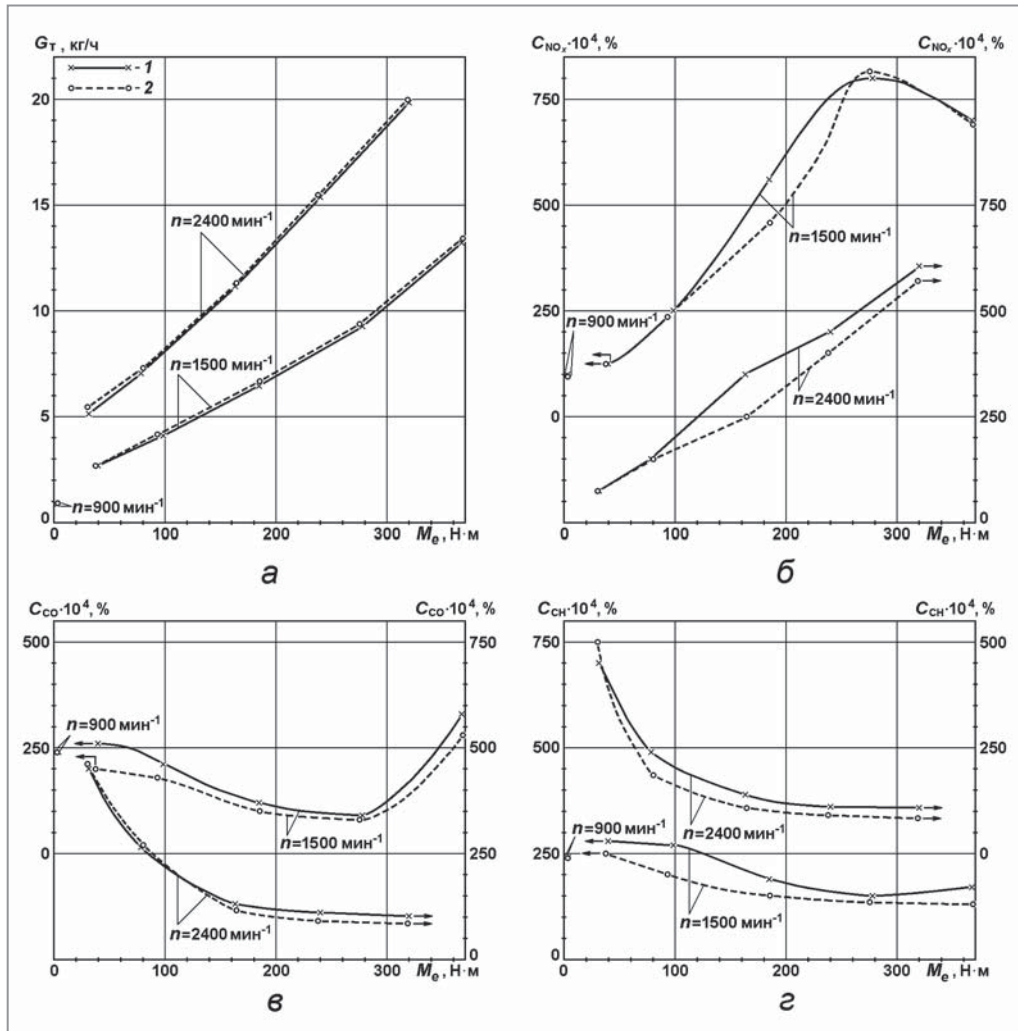


Рис. 3. Зависимость часового расхода топлива G_T (а), объемной концентрации оксидов азота C_{NO_x} (б), монооксида углерода C_{CO} (в) и несгоревших углеводородов C_{CH} (г) в ОГ дизеля типа Д-245.12С от частоты вращения n и крутящего момента M_e при использовании различных топлив: 1 – ДТ; 2 – смесь 91 % ДТ и 9 % ЛМ

91 % ДТ и 9 % ЛМ на режиме максимальной мощности при $n=2400 \text{ мин}^{-1}$ величина G_T возросла от 20,10 до 20,24 кг/ч, а на режиме максимального крутящего момента при $n=1500 \text{ мин}^{-1}$ – от 13,10 до 13,28 кг/ч (см. рис. 3а и табл. 4).

При использовании смесового биотоплива на большинстве исследуемых режимов имело место уменьшение содержания в ОГ оксидов азота C_{NO_x} (см. рис. 3б). Так, перевод дизеля с ДТ на смесь 91 % ДТ и 9 % ЛМ на режиме холостого хода при $n=900 \text{ мин}^{-1}$ сопровождался

снижением концентрации C_{NO_x} от 0,0100 до 0,0095 %, на режиме максимальной мощности при $n=1500 \text{ мин}^{-1}$ концентрация C_{NO_x} уменьшилась от 0,0700 до 0,0690 %, а на режиме максимальной мощности при $n=2400 \text{ мин}^{-1}$ – от 0,0605 до 0,0570 %.

При использовании смесового биотоплива отмечена тенденция снижения содержания в ОГ монооксида углерода C_{CO} (см. рис. 3в). Перевод дизеля с ДТ на смесь 91 % ДТ и 9 % ЛМ на режиме холостого хода при $n=900 \text{ мин}^{-1}$ не сказался

на концентрации C_{CO} – она осталась неизменной и была равна 0,0240 %. Но при этом на режиме максимального крутящего момента при $n=1500 \text{ мин}^{-1}$ концентрация C_{CO} снизилась от 0,0330 до 0,0280 %, а на режиме максимальной мощности при $n=2400 \text{ мин}^{-1}$ – от 0,0102 до 0,0085 %.

Перевод исследуемого дизеля на смешанное биотопливо оказал наибольшее положительное влияние на содержание в ОГ несгоревших углеводородов C_{CH} (см. рис. 3з). При переводе дизеля с ДТ на смесь 91 % ДТ и 9 % ЛМ на режиме холостого хода при $n=900 \text{ мин}^{-1}$ отмечено снижение концентрации C_{CH} от 0,0240 до 0,0239 %, на режиме максимального крутящего момента при $n=1500 \text{ мин}^{-1}$ – от 0,0170 до 0,0130 %, на режиме максимальной мощности при $n=2400 \text{ мин}^{-1}$ – от 0,0108 до 0,0083 %.

По приведенным на рис. 3 характеристикам часового расхода топлива G_t и содержания в ОГ нормируемых токсичных компонентов (оксидов азота C_{NOx} , монооксида углерода C_{CO} , несгоревших углеводородов C_{CH}) с использованием общепринятых методик рассчитаны показатели топливной экономичности и интегральные удельные массовые выбросы токсичных компонентов на режимах 13-ступенчатого цикла (соответственно e_{NOx} , e_{CO} , e_{CH}). Оценка эксплуатационного расхода топлива на режимах 13-ступенчатого цикла проведена по среднему (условный) удельному эффективному расходу топлива, который определялся с использованием зависимости [2]

$$g_{e \text{ усл}} = \frac{\sum_{i=1}^{13} G_{ti} K_i}{\sum_{i=1}^{13} N_{ei} K_i}$$

где G_{ti} и N_{ei} – часовой расход топлива и эффективная мощность двигателя на i -м режиме.

Поскольку смешанные биотоплива имеют меньшую теплотворную способность, топливная экономичность дизеля при

его работе на этих топливах оценивалась не удельным эффективным расходом топлива g_e , а эффективным КПД дизеля η_e . Причем для интегральной оценки работы дизеля на режимах 13-ступенчатого цикла использован условный эффективный КПД, определяемый из соотношения [2]

$$\eta_{e \text{ усл}} = \frac{3600}{H_U g_{e \text{ усл}}}$$

где H_U – низшая теплота сгорания топлива, МДж/кг.

Результаты расчетов указанных параметров (см. табл. 4) подтверждают возможность улучшения экологических показателей дизеля Д-245.12С при его переводе с ДТ на смесь 91 % ДТ и 9 % ЛМ. Так, при подаче в КС дизеля исследуемого смешанного биотоплива на режимах максимальной мощности и максимального крутящего момента дымность ОГ снизилась на 16...31 % по сравнению с использованием нефтяного ДТ. Удельный массовый выброс несгоревших углеводородов e_{CH} на режимах 13-ступенчатого цикла уменьшился с 0,788 до 0,664 г/(кВт·ч), то есть на 15,7 %, удельный массовый выброс монооксида углерода e_{CO} снизился с 1,723 до 1,511 г/(кВт·ч), или на 12,3 %. При этом удельный массовый выброс оксидов азота e_{NOx} снизился с 7,018 до 6,441 г/(кВт·ч), то есть на 8,2 %, а условный эффективный КПД дизеля $\eta_{e \text{ усл}}$ остался практически неизменным (уменьшился с 0,341 до 0,340, что находится в пределах точности определения этого показателя).

Представленные результаты исследований дизеля типа Д-245.12С получены при его работе на смешанном биотопливе, содержащем 91 % ДТ и 9 % ЛМ. Но определенный интерес представляет вопрос о влиянии состава смешанного биотоплива на характеристики дизеля. В связи с этим проведен анализ показателей дизеля типа Д-245.12С, работающего на чистом нефтяном ДТ, смеси 95 % ДТ и 5 % ЛМ, смеси 91 % ДТ и 9 % ЛМ. При этом использованы данные табл. 4.

Характеристики удельного эффективного расхода топлива g_e , эффективного КПД η_e исследуемого дизеля и дымности ОГ K_x в зависимости от концентрации льняного масла в смесевом биотопливе $C_{\text{ЛМ}}$ приведены в табл. 4 и на рис. 4а. На режиме максимальной мощности при $n=2400 \text{ мин}^{-1}$ увеличение концентрации льняного масла $C_{\text{ЛМ}}$ в смесевом биотопливе с 0 до 5 и 9 % приводит к росту удельного эффективного расхода топлива g_e с 248,4 до 250,8 и 252,1 г/(кВт·ч) соответственно и снижению дымности ОГ K_x с 16,0 до 12,0 и 11,0 %. Аналогичное увеличение $C_{\text{ЛМ}}$ на режиме максимального крутящего момента при $n=1500 \text{ мин}^{-1}$ сопровождалось ростом g_e с 226,2 до 228,9 и 230,1 г/(кВт·ч) и уменьшением K_x с 43,0 до 37,5 и 36,0 %.

Приведенные данные свидетельствуют о том, что использование рассматриваемых смесевых биотоплив позволило заметно уменьшить дымность ОГ. Указанное же увеличение удельного расхода смесевых биотоплив объясняется их

меньшей теплотворной способностью H_U (см. табл. 2). При этом с ростом содержания ЛМ в смесевом биотопливе эффективность процесса сгорания изменялась сравнительно слабо. Так, на режиме максимальной мощности при $n=2400 \text{ мин}^{-1}$ и концентрации льняного масла в смесевом биотопливе $C_{\text{ЛМ}}$ 0; 5 и 9 % условный эффективный КПД дизеля $\eta_{e \text{ усл}}$ составил соответственно 0,341; 0,340 и 0,340, а на режиме максимального крутящего момента при $n=1500 \text{ мин}^{-1}$ – 0,374; 0,373 и 0,373 (см. табл. 4).

Значения интегральных на режимах 13-ступенчатого испытательного цикла удельных массовых выбросов токсичных компонентов (см. табл. 4 и рис. 4б) подтвердили возможность заметного улучшения экологических показателей исследуемого дизеля при использовании смесевых биотоплив. Их применение позволило снизить выбросы всех нормируемых токсичных компонентов ОГ дизеля – оксидов азота NO_x , монооксида углерода CO , несгоревших углеводородов CH .

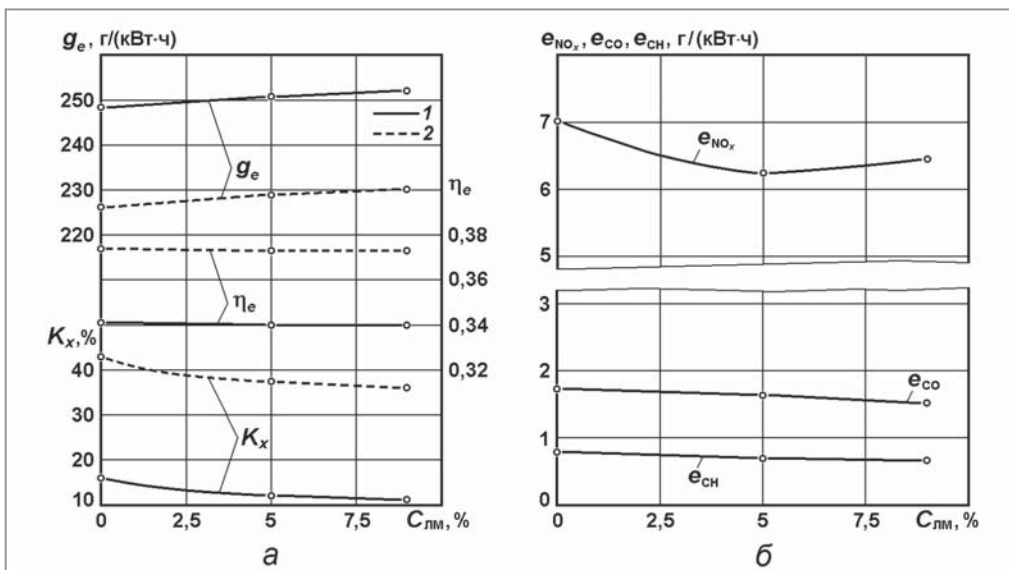


Рис. 4. Зависимость удельного эффективного расхода топлива g_e , эффективного КПД η_e , дымности ОГ K_x на режимах ВСХ (а), удельных массовых выбросов оксидов азота e_{NO_x} , монооксида углерода e_{CO} и углеводородов e_{CH} на режимах 13-ступенчатого испытательного цикла (б) дизеля типа Д-245.12С от содержания льняного масла $C_{\text{ЛМ}}$ в смесевом биотопливе: 1 – на режиме максимальной мощности при $n=2400 \text{ мин}^{-1}$; 2 – на режиме максимального крутящего момента при $n=1500 \text{ мин}^{-1}$

При концентрации льняного масла в смеси биотопливе $C_{\text{ЛМ}}$ равной 0; 5 и 9 %, выбросы оксидов азота e_{NO_x} составили соответственно 7,018; 6,230 и 6,441 г/(кВт·ч), выбросы монооксида углерода e_{CO} – 1,723; 1,631 и 1,511 г/(кВт·ч), выбросы несгоревших углеводородов e_{CH} – 0,788; 0,695 и 0,664 г/(кВт·ч).

В целом проведенные экспериментальные исследования отечественного автотракторного дизеля типа Д-245.12С подтвердили эффективность использования льняного масла как экологической добавки к нефтяному дизельному топливу.

Содержащийся в молекулах льняного масла кислород благоприятно сказывается на выбросах с ОГ дизеля нормируемых токсичных компонентов – оксидов азота, монооксида углерода и несгоревших углеводородов, а также на дымности ОГ. Полученные экспериментальные данные также подтверждают возможность оптимизации состава рассматриваемого смесового биотоплива (с учетом минимизации расхода топлива), выбросов токсичных компонентов ОГ и преимущественных режимов работы автотракторного дизеля.

Литература

1. Альтернативные топлива для двигателей внутреннего сгорания / А.А. Александров, И.А. Архаров, В.А. Марков и др. Под ред. А.А. Александрова, В.А. Маркова. – М.: ООО НИЦ «Инженер», ООО «Онико-М», 2012. – 791 с.
2. **Девянин С.Н., Марков В.А., Семенов В.Г.** Растительные масла и топлива на их основе для дизельных двигателей. – М.: Издательский центр ФГОУ ВПО «МГАУ им. В.П. Горячкина», 2008. – 340 с.
3. **Петрова С.Н., Маланина О.О.** Влияние условий хранения на качественные показатели подсолнечного и льняного масла // Масложировая промышленность. – 2012. – № 1. – С. 16-18.
4. **Ладыгин В.В., Прохорова Л.Т., Журавлева Л.Н. и др.** Химический состав и окислительная стабильность пищевого льняного масла // Масложировая промышленность. – 2011. – № 5. – С. 12-15.
5. **Goering C.E., Daugherty M.J.** Energy Accounting for Eleven Vegetable Oil Fuels // Transactions of the ASAE. – 1982. – Vol. 25. – № 5. – P. 1209-1215.
6. **Goering C.E., Schwab A.W., Daugherty M.J., Pryde E.H., Heakin A.J.** Fuel Properties of Eleven Vegetable Oils // Transactions of the ASAE. – 1982. – Vol. 25. – № 6. – P. 1472-1477, 1483.
7. **Knorr W., Daute P., Grutmacher R., Hofer R.** Development of New Fields of Application for Linseed Oil // Fett Wissenschaft Technologie. – 1995. – Jg. 97. – № 5. – S. 165-169.
8. **Agarwal A.K., Das L.M.** Biodiesel Development and Characterization for Use as a Fuel in Compression Ignition Engines // Transactions of the ASME. Journal of Engineering for Gas Turbines and Power. – 2001. – Vol. 123. – № 2. – P. 440-447.
9. **Agarwal A.K., Bijwe J., Das L.M.** Effect of Biodiesel Utilization of Wear of Vital Parts in Compression Ignition Engine // Transactions of the ASME. Journal of Engineering for Gas Turbines and Power. – 2003. – Vol. 125. – № 2. – P. 604-611.
10. **Agarwal A.K., Bijwe J., Das L.M.** Wear Assessment in a Biodiesel Fueled Compression Ignition Engine // Transactions of the ASME. Journal of Engineering for Gas Turbines and Power. – 2003. – Vol. 125. – № 3. – P. 820-826.
11. **Sebedio J.L., Prevost J., Grandgirard A.** Heat Treatment of Vegetable Oils. I. Isolation of the Cyclic Fatty Acid Monomers From Heated Sunflower and Linseed Oils // Journal of the American Oil Chemists' Society. – 1987. – Vol. 64. – № 7. – P. 1026-1032.

Способ определения механических потерь в двигателе внутреннего сгорания

И.К. Александров, профессор Вологодского государственного университета (ВоГУ), д.т.н.

В статье представлен метод определения механических потерь двигателя внутреннего сгорания. Принципиальное отличие способа в том, что вращение вала двигателя производится от сжатого воздуха. Это условие повышает достоверность результата.

Ключевые слова:

механические потери ДВС.

Одним из факторов, существенно влияющих на энергетические характеристики двигателя внутреннего сгорания (ДВС), является величина удельных механических потерь в цилиндропоршневой группе и кривошипно-шатунном механизме. В двигателестроении известны [1-4] два основных способа экспериментального определения механических потерь в ДВС. Первый способ заключается в том, что проводят определение мощности, необходимой для прокручивания двигателя от постороннего источника механической энергии. По второму способу осуществляется поочередное выключение из работы отдельных цилиндров и сопоставляется развиваемая при этом мощность двигателя с его мощностью при работе на всех цилиндрах.

При использовании первого метода не учитывается возрастание величины механических потерь в цилиндропоршневой группе и кривошипно-шатунном механизме за счет дополнительной нагрузки на них при совершении рабочих ходов.

Неточности определения механических потерь по второму методу возникают

в связи с тем, что в режиме работы ДВС при выключении одного из цилиндров существенно изменяются условия протекания газодинамических процессов в остальных (работающих) цилиндрах.

Способ, предложенный кафедрой автомобилей и автомобильного хозяйства Вологодского государственного университета [5], исключает указанные недостатки, что повышает точность измерения величины механических потерь в двигателе.

Суть метода заключается в том, что двигатель нагружают стандартным тормозным устройством, а прокручивание ДВС осуществляют от внешнего источника сжатого воздуха. При этом параметры сжатого воздуха перед впуском в цилиндры стабилизируют по температуре и давлению, значения которых подбирают в соответствии с параметрами рабочего тела нагруженного двигателя, регистрируют изменяющееся давление сжатого воздуха в цилиндрах, вычисляют индикаторную мощность двигателя, при сравнении которой с эффективной мощностью на валу двигателя определяют величину механических потерь.

Использование сжатого воздуха, стабилизированного по давлению и

температуре, для прокручивания двигателя под нагрузкой обеспечивает достоверность измерения давления по цилиндрам двигателя, а, следовательно, и получение стабильных значений среднего индикаторного давления. Это дополнительно повышает точность измерений, значения которых в данном случае не зависят от неравномерности работы топливной аппаратуры и протекания процессов сгорания в цилиндрах.

Схема реализации способа определения механических потерь ДВС представлена на рисунке. Установка включает в себя испытуемый двигатель 1, нагрузочное устройство 12, воздушный баллон 3, который с помощью трубопровода 4 соединен с распределителем 5 дискового типа. Распределитель 5 трубопроводом 6 соединен с впускным (обратный) клапаном 7, установленным на двигателе 1 вместо свечи зажигания или форсунки. Для регистрации мгновенного значения давления в цилиндре 9 двигателя 1 установлен датчик 8 давления, сигнал от которого поступает на записывающее устройство 10. Создание необходимой нагрузки на двигатель,

контроль ее величины и частоты вращения вала двигателя 1 осуществляется тормозным устройством 12. Стабилизация давления и температуры воздуха обеспечивается за счет компрессорной установки (на схеме не указана).

Работа стендовой установки осуществляется следующим образом. Сжатый воздух, стабилизированный по температуре и давлению, из воздушного баллона 3 по трубопроводу 4 поступает к распределителю 5. Своевременную подачу воздуха в соответствующий цилиндр двигателя 1 осуществляет вращающийся диск распределителя 5, благодаря которому подача воздуха в каждый цилиндр производится в строго определенный момент, а именно – когда впускной и выпускной клапаны закрыты (рабочий ход) и поршень находится вблизи верхней мертвой точки (ВМТ). От распределителя 5 сжатый воздух поступает к впускному клапану 7, открывающемуся при определенном давлении сжатого воздуха, а далее попадает в цилиндр 9 и, воздействуя на поршень, прокручивает двигатель 1. С помощью датчика 8 проводится регистрация

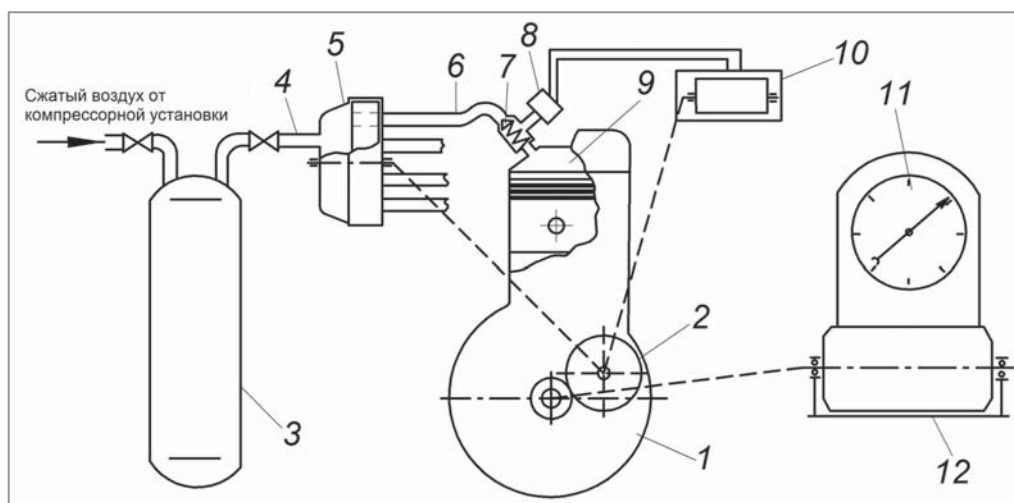


Схема установки для определения механических потерь в ДВС:

1 – испытуемый двигатель; 2 – распределительный вал двигателя; 3 – воздушный баллон; 4 – трубопровод; 5 – распределитель дискового типа; 6 – трубопровод; 7 – впускной (обратный) клапан; 8 – датчик давления; 9 – цилиндр двигателя; 10 – записывающее устройство; 11 – весовое устройство нагружателя; 12 – нагрузочное устройство; - - - кинематические связи

изменяющегося давления в цилиндре 9. Контроль нагрузки на двигатель осуществляют по величине реактивного момента, измеряемого весовым устройством 11 на грузателя 12.

Для вычисления механического КПД двигателя используют известные [3, 4] зависимости:

$$\eta_m = \frac{N_e}{N_i} = \frac{M_e \omega}{M_i \omega} = \frac{M_e}{M_i} \quad (1)$$

где N_e – эффективная мощность двигателя, кВт; N_i – индикаторная мощность двигателя, кВт; M_e – эффективный момент двигателя, кН·м; M_i – индикаторный момент двигателя, кН·м; ω – частота вращения двигателя, c^{-1} .

$$N_i = \frac{p_i V_h i n}{30 \tau}, \text{ кВт} \quad (2)$$

где p_i – среднее индикаторное давление, МПа; V_h – рабочий объем цилиндров, л; i – число цилиндров; n – частота вращения двигателя, min^{-1} ; τ – коэффициент тактности.

$$V_h = \frac{\pi D_{ц}^2}{4} 2R = \frac{\pi D_{ц}^2}{2} R, \text{ л} \quad (3)$$

где $D_{ц}$ – диаметр цилиндра, дм; R – радиус кривошипа, дм.

На основании (2) и (3) в целях упрощения методики расчета формулу (1) можно представить в виде

$$\eta_m = \frac{M_e}{p_i K_d}, \quad (4)$$

где K_d – константа для данного двигателя.

Как видно из уравнения (4), методика

определения механического КПД с использованием запатентованного способа сводится к определению эффективного момента, который определяется обычным способом на тормозном стенде, и среднего индикаторного давления, что также осуществляется на основе штатных методик и приборов. Эти два обстоятельства упрощают реализацию способа и обеспечивают возможность его широкого практического применения.

Весьма существенным преимуществом предложенного способа является то, что для выполнения индицирования ДВС отпадает потребность в специальном технологическом отверствии в камере сгорания для датчика давления. В результате чего двигатель полностью сохраняет конструкцию после проведения испытаний и может быть использован далее по своему основному назначению.

Использование при испытании ДВС в качестве рабочего тела сжатого воздуха также является несомненным преимуществом в экологическом отношении, поскольку практически устраняется загазованность испытательного помещения.

Полное сохранение конструкции ДВС после проведения испытаний стало основанием для подачи автором новой заявки в Роспатент на изобретение, где данное техническое решение используется в качестве диагностической установки для определения остаточного ресурса ДВС.

Литература

1. Стефановский Б.С. Испытание двигателей внутреннего сгорания / Б.С. Стефановский. – М.: Машиностроение, 1972. – 368 с.
2. Двигатели внутреннего сгорания. Кн. 2. Динамика и конструирование: Учеб. для вузов / В.Н. Луканин, И.В. Алексеев, М.Г. Шатров и др., под ред. В.Н. Луканина и М.Г. Шатрова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 2005. – 400 с.
3. Дьяченко Н.Х. Теория двигателей внутреннего сгорания / Н.Х. Дьяченко. – Л.: Машиностроение, 1974. – 456 с.
4. Дьяченко В.Г. Теория двигателей внутреннего сгорания: учебник / В.Г. Дьяченко. – Харьков: ХНАДУ, 2009. – 500 с.
5. Авторское свидетельство № 177209 А1. Способ определения величины механических потерь двигателя внутреннего сгорания / И.К. Александров, Г.И. Шаров. – Заявл. 04.07.1989; опубл. 08.07.1992 // Б.И. – № 41.

Мировой газомоторный рынок

Автопробег «Голубой коридор»



Девятый Международный автопробег «Голубой коридор – 2015: Тур Эйфеля» состоится 24 мая – 11 июня 2015 г. Автопробег, приуроченный к 26-му Мировому газовому конгрессу в Париже (1-5.06.2015 г.), стартует в Санкт-Петербурге и пройдет по столицам семи европейских государств. Автопробег финиширует 3 июня в Парижском выставочном комплексе у Версальских ворот. Кстати, это место находится недалеко от пригорода Жуэвиль-Ле-Пон, куда в 1862 г., испытывая первую в мире газовую машину, приехал Этьен Лемуар – создатель первого в мире транспортного двигателя внутреннего сгорания. И работал тот двигатель

на газе, а ту поездку можно назвать первым газовым автопробегом.

В этом году главной темой автопробега является использование природного газа на муниципальном транспорте. На какой технике город может использовать метан? Кроме автобусов и грузовиков, это такси и коммунальная техника, дорожно-строительные машины и автопогрузчики, почта и скорая помощь, полиция, а также речные грузовые и пассажирские суда, которых достаточно много в больших и малых городах. Мировая автомобильная промышленность предлагает 180 моделей автомобилей на КПП и СПГ, которые могут эффективно использоваться в муниципальном хозяйстве.



Рабочая схема Автопробега «Голубой коридор – 2015»

В Варшаве, Берлине и Амстердаме состоятся брифинги для представителей СМИ. В Париже в рамках Мирового газового конгресса будет организована выставка газовых автомобилей, участвующих в автопробеге. Экспозицию посетят политики, менеджеры, представители автопроизводителей, транспортных компаний для обмена опытом и обсуждения совместных проектов по развитию мирового газомоторного рынка.

Автопробег «Голубой коридор – 2015: Тур Эйфеля» по традиции организуют российская компания «Газпром» и германская E.ON при поддержке Международного газового союза (IGU), Мировой и Европейской газомоторных ассоциаций (NGV Global и NGVA Europe).

Первый трансокеанский переход на метане

В конце марта 2015 г. состоялось знаменательное событие в мировой газомоторной отрасли: впервые в мире совершен трансокеанский переход по маршруту Чжанцзяган (дельта Янцзы, Китай) – Берген (Норвегия). Протяженность перехода составила 13 тыс. морских миль.



Карта перехода судна Kvitbjorn

Газовое грузовое судно Kvitbjorn (Белый медведь) прошло из Тихого океана в Индийский и далее через Суэцкий канал, Средиземное море, проливы Гибралтар и Ла-Манш прибыло в Северное море в Берген. Во время похода судно бункеровалось в Кочи (Индия) и Картахене (Испания). По мнению судовладельца, главным результатом является не сам факт трансокеанского перехода, а подтверждение того, что применение СПГ возможно на морских линиях любой протяженности.

Корабль оснащен газовыми двигателями Rolls-Royce Bergen B35:40L9PG на СПГ мощностью 3940 кВт. Следует подчеркнуть, что именно газовыми, а не газодизельными, которым в основном отдается предпочтение. СПГ хранится в емкости вместимостью 380 м³. Содержание CO₂ в отработавших газах сокращено на 40 %.



Грузовое судно Kvitbjorn

Судно может перевозить до 5 тыс. т различных грузов. Компания Nor Lines из Ставангера (Норвегия) планирует использовать его на коротких линиях плавания Северного моря между западными портами Швеции (в частности Хаммерфест) и портами Голландии. Заправлять «Белого медведя» сжиженным метаном будет компания Skangass.

На первом этапе заправка будет осуществляться от КриоПАГЗа. Стационарный комплекс получения и заправки СПГ будет построен в Рисавике. Компания Nor Lines планирует в июне 2015 г. ввести в эксплуатацию второе судно такого класса.

Источник: ННР Insight

Метан на военной технике

Представители силовых структур разных стран мира время от времени задаются вопросом о возможности применения природного газа на военной и полицейской технике. Военные не спешат даже частично отказываться от нефтепродуктов, мотивируя это трудностями, которые могут возникнуть в бою. Однако при этом они не принимают во внимание количество топлива, которое уходит исключительно на тыловые нужды.

И все же военных постепенно заставляют сокращать затраты на топливо, и они вынуждены принимать метан на вооружение. В последние годы в разных странах мира в вооруженные силы приходят газовые технологии для колесной техники, кораблей и самолетов.

Индонезия

В 2013 г. в рамках курируемой Министерством энергетики программы диверсификации видов топлива индонезийские военные приняли решение о переводе на КПГ 500 ед. техники в гарнизонах Джакарты и Сурабаи. Газификация военной техники началась с установки на бензиновых автомобилях универсальной системы питания, обеспечивающей работу двигателей на метане или бензине. Заправочную инфраструктуру для транспорта индонезийских военных будет развивать государственная нефтегазовая компания Pertamina.

Испания

В марте 2015 г. в Мадриде прошла конференция на тему «Использование природного газа в вооруженных силах и силах безопасности государства». Ее организатором стала Испанская газомоторная ассоциация (GASNAM – Spanish Association of Natural Gas for Mobility) при спонсорской поддержке компаний Gas Natural Fenosa, Repsol и агентства Bureau Veritas.

В числе участников конференции были начальник тыла ВМС Испании, президент и генеральный секретарь ассоциации GASNAM, старшие офицеры национальной полиции, представители инженерного управления сухопутных сил, испанской таможни, агентства безопасности и спасения на море, что не оставляет сомнений в серьезных намерениях испанских силовиков тщательно разобраться в вопросе.

Ранее сообщалось, что в Валенсии испанский флот принимал участие в испытании двух газовых минивэнов, обеспечивавших регулярное пассажирское сообщение. Речь шла о сугубо гражданском применении метана, однако военные в проекте также участвовали.

США

По данным министерства обороны, в 2011 г. американские военные «сожгли» 13,5 млн т моторного топлива на сумму около 20 млрд долл. США (примерно по 1,05 долл. за литр). По оценке информационного ресурса Energy & Capital, в 2014 г. потребление топлива американскими военными превысило 21 млн т. Только в ВВС США счет за топливо составил 10 млрд долларов.

Армия США рассматривает возможность сокращения затрат на топливо за счет перевода колесной техники общего назначения на газодизельный цикл. Инженерные войска армии США также присматриваются к использованию СПГ на своих многочисленных судах различного назначения. Еще в 2014 г. по заказу Филадельфийского морского исследовательского центра инженерных войск компания Bristol Harbor должна была подготовить рекомендации по применению альтернативных видов топлива, включая СПГ и КПГ.

ВМС США используют около 300 видов автомобилей различного назначения на КПГ в составе береговых подразделений тылового обеспечения. ВВС США с 2006 г. испытывают на бомбардировщиках B-52 и B-1 жидкое топливо, синтезированное из природного газа (СЖТ). По заверениям военных, новое топливо для авиации станет экономически приемлемым при его стоимости менее 0,46 долл. за литр. Его ценность заключается также и в том, что топливную аппаратуру двигателя и заправочную технику переделывать не нужно.

В ВВС США уже давно существуют планы по организации к 2016 г. производства 1 млн т синтетического авиационного топлива. К работе по созданию технических требований для авиадвигателей привлечены компании Pratt & Whitney, Rolls-Royce PLC, Honeywell International Inc. и General Electric Co.

Береговая охрана США в 2012 г. рассматривала варианты перевода своих судов на сжиженный метан.

Финляндия

В 2013 г. по заказу министерства внутренних дел Финляндии построен газодизельный сторожевик на СПГ. Корабль проекта UVL10 (длина 96 м, ширина 17 м) построен во исполнение государственной программы сокращения экологического ущерба на море и в целях соблюдения новых требований по выбросам, введенных на Балтике с начала 2015 г.



Заправка
армейского автомобиля



Береговая охрана

Метан 4U

Успешный испытательный пробег первого немецкого судна на СПГ

В Бремерхафене (ФРГ) немецкий автомобильный и пассажирский паром MS Ostfriesland, принадлежащий компании EMS AG, впервые был заправлен сжиженным природным газом, что гарантирует низкий уровень токсичности выбросов. Первоначальная заправка 94-метрового парома была обеспечена немецкой компанией Bomin Linde LNG, специализирующейся на заправке морских судов СПГ. По завершении проверки безопасности топливный резервуар парома был быстро заполнен СПГ в объеме 40 м³.



Паром MS Ostfriesland

«Мы очень рады, что испытательный пробег прошел успешно. Он был проведен быстро и безопасно под контролем Bomin Linde LNG, – отметил управляющий директор AG EMS д-р Бернхард Бронс. – Это стало возможным благодаря четкому взаимодействию наших партнеров и команде Bomin Linde LNG, которая всесторонне подготовилась и распланировала весь процесс заправки заранее, а также получила все необходимые разрешения. Этот первый опыт приблизит нас к плану запуска MS Ostfriesland на СПГ».

«Мы с нетерпением ждем начала заправки сжиженным метаном парома на регулярной основе в ближайшее время. Безопасная отработанная и быстрая заправка будет обеспечена за счет использования инновационных технологий», – прокомментировал, в свою очередь, главный инженер Bomin Linde LNG Гюнтер Айерманн.

После успешной первоначальной заправки пассажирскому парому, который был модернизирован для работы на СПГ компанией Brennung Verformtechnik Bremen (BVT), необходимо выполнить несколько пробных рейсов. К середине года первое немецкое судно на СПГ сможет приступить к ежедневному курсированию между Эмденом и островом Боркум в Северном море. Используя СПГ, MS Ostfriesland сэкономит более 1 млн л судового топлива за год.

Bomin Linde LNG и судовладелец AG EMS совместно сделали решительный шаг в сторону использования сжиженного природного газа в качестве экологически чистого и дешевого топлива. «Это хорошая новость для немецкой судоходной отрасли», – заключил Роберт Хоув, управляющий директор Bremenports GmbH & Co. KG, оператора порта Бремерхафен.

www.ngvglobal.com/blog/test-run-successful-for-first-german-liquefied-natural-gas-vessel-0505

Заправки СПГ Asda присоединяются к британской сети

Компания Asda недавно открыла новую АГНКС в Эйвонмауте, рядом с Бристолем, для широкого использования, добавив таким образом

в существующую британскую сеть АГНКС еще одну станцию, доступную для грузовиков на СПГ.

«Нам действительно повезло работать с такими кампаниями как ВОС и Volvo. Используя новые технологии, мы сможем снизить затраты и вредные выбросы. Нам предоставлено отличное оборудование от ВОС, и использовать его для расширения сети заправок СПГ было бы хорошим решением», – сказал Стюарт Миллиган, официальный представитель Asda.

АГНКС Asda была открыта в прошлом году. В ней использована новейшая технология так называемых «нулевых потерь», разработанная ВОС на основе криогенного охлаждения топлива до температурного состояния, максимально благоприятного для осуществления процесса заправки.

Двухтопливность, позволяющая использовать природный газ в сочетании с дизельным топливом, является инновационной разработкой, способствующей снижению общего потребления дизельного топлива и сокращению выбросов углекислого газа. СПГ, как правило, занимает до 60 % общего объема потребления топлива для двухтопливного автомобиля.

Дизельное топливо производит около 2,6 кг углекислого газа на каждый литр сжигаемого топлива, в то время как при использовании СПГ в сочетании с ДТ выбросы углекислого газа снижаются на 10...14 %.

ВОС и компания Linde планируют в скором времени продемонстрировать инновационную мобильную АГНКС. Новый мобильный заправщик будет легким в использовании и одновременно сможет производить заправку сжиженным природным газом от 5 до 30 транспортных средств. Новая АГНКС существенно снижает потери метана, уменьшая вредные выбросы и обеспечивая быстрое время заправки.

www.ngvglobal.com/blog/asda-lng-refuelling-station-joins-uk-network-0428

Рост газомоторного рынка в Португалии

Skoda CitigoSIVA, португальский транспортный поставщик, представитель компании Volkswagen Group и газовый дистрибьютор Dourogás в апреле 2015 г. подписали соглашение о распространении и использовании новых возможностей СПГ как альтернативного топлива. Dourogás таким образом выразил свои намерения об увеличении сети АГНКС.

Особенности транспорта на СПГ заключаются в повышенной экономии и эффективности использования при одновременном снижении уровня загрязнения окружающей среды. При этом производительность транспортного средства остается такой же, как и при работе на дизеле.

SIVA, поставщик и дистрибьютор Audi, Skoda, Bentley, Lamborghini, Volkswagen, на данный момент представляет несколько транспортных средств, работающих на природном газе: Volkswagen up!, Golf и Caddy, Skoda Citigo и Octavia. Этот список скоро пополнится и новой Audi A3 G-tron.

Согласованность стратегии между SIVA и Dourogás обеспечит широкое использование природного газа как альтернативного топлива, благодаря увеличению сети АГНКС. Новые станции готовятся к открытию в португальском районе Санту-Антониу-душ-Кавальеруш.

www.ngvglobal.com/blog/dealer-gas-distributor-collaboration-in-portugal-to-grow-ngv-market-0424

Первый двухтопливный грузовик Греции

Компания Ecomotive Solutions, входящая в Holdim Group и специализирующаяся в области работы с двухтопливными двигателями, рапортовала об успехах в трансформации первого грузовика в Греции для работы на метане, поднявшись, таким образом, на новую ступень развития рынка природного газа. После тщательной оценки первых результатов, полученных в ходе эксплуатации обновленного грузовика на дороге в течение нескольких месяцев после преобразования, греческая компания FL Group Kiriakidis, добывающая мрамор, выбрала для перевода еще 17 транспортных средств. Эта компания намеревается открыть собственные газозаправочные станции на территории компании, а также для заправки горных машин. В настоящее время в Греции существует всего 5 АГНКС.



Газобаллонное оборудование нового грузовика

Работа Ecomotive Solutions над двухтопливными двигателями и строительством АГНКС началась еще в 2012 г. Испытуемый грузовик DAF XF 105 460 CV Euro 5 продемонстрировал 24%-ную экономию топлива. 1200-литровый топливный бак был заменен на 400-литровый дизельный бак и 870-литровые баллоны для КПП, что позволяет работать без дозаправки около 600 км пути.

Применение новых технологических систем никак не скажется на характеристиках двигателя, сохранится прежняя начальная производительность и эффективность. При нехватке СПГ система автоматически переключается на дизельное топливо.

<http://www.ngvglobal.com/blog/dual-fuel-hd-vehicle-trial-opens-door-in-greece-0425>

Дноуглубительное судно на СПГ

Бельгийская компания DEME, специализирующаяся на дноуглубительных, гидротехнических и экологических работах, продолжает свою «зеленую» политику путем дальнейшего расширения дноуглубительного флота за счет двух новых трюмных самоотвозных землесосов, которые будут оснащены двухтопливными двигателями и топливными баками с СПГ. Суда предназначены специально для обслуживания европейских рынков.

Сооруженные в соответствии с «зеленым» дизайном, оба судна будут иметь «Зеленый паспорт» и обозначения «Чистый дизайн». СПГ-двигатель обеспечит соблюдение всех международных требований по вредным выбросам. Двухтопливная технология устойчива и ориентирована на будущее. Оба судна будут построены голландской королевской верфью ИНС и войдут в строй до конца 2016 г.

Первое судно будет трюмным самоотвозным землесосом нового поколения, оснащенный бункером объемом около 8000 м³, с общей длиной 104 м и осадкой до 7,5 м. Второе судно будет обладать бункером объемом 3000 (3500) м³ и длиной 77 м. Его конструкция обеспечит оптимизированное проведение дноуглубительных работ на мелководье.

<http://www.ngvglobal.com/blog/deme-plans-lng-powered-hopper-dredgers-0427>

Aspro запускает новую линию продуктов

Аргентинский производитель компрессоров для СПГ Aspro запустил новую линию продукции, известную как APE 10 70 – современное решение для ограниченного пространства, с которым часто приходится иметь дело строителям компрессорных станций. Новая модель разработана так, чтобы уменьшить стоимость монтажных работ на 45 %.

Aspro разработала продукт для рыночной ниши, где он не был представлен до сих пор. APE 10 70 имеет конкурентное преимущество там, где есть спрос на СПГ, но нет поддержки сети. Продукт обладает встроенным хранилищем, панелью управления и инновационной взрывозащитной кабиной. Это оборудование предназначено для небольших станций, где строительство отдельного бункера не представляется возможным.

<http://www.ngvglobal.com/blog/aspro-launches-niche-cng-compressor-0415>

14 новых голландских тягачей на СПГ

Голландская транспортная компания Peter Appel Transport, расположенная в Мидденмеере, приобрела четыре новых тягача Iveco Stralis Hi-Road, которые работают на сжиженном природном газе. Peter Appel Transport использует тягачи на СПГ с 2012 г. Общий парк транспортных средств компании, использующих СПГ, насчитывает 18 ед.

Peter Appel Transport специализируется на обслуживании индустрии розничной торговли и общественного питания. Компания уже реализовала несколько инициатив по сокращению выбросов CO₂, в частности приобрела четыре тягача Iveco в качестве своего первого вклада в защиту окружающей среды. Эти грузовики прошли более 1,25 млн км и используются ежедневно для доставки продуктов супермаркетам.

Новая техника Iveco Stralis Hi-Road оснащена газовыми двигателями FPT Cursor 8 с мощностью 243 кВт, благодаря чему снижены выбросы NO_x, CO₂ и твердых частиц. Стандарт выбросов Евро-6 достигается без использования AdBlue или фильтра тонкой очистки. Шумовой порог работы агрегатов снижен (сертификат PEAK), что позволяет этим грузовикам въезжать во внутренние зоны города, где другие грузовики запрещены.



Новые тягачи на СПГ

Maruti Suzuki увеличивает продажи газовых автомобилей

Maruti Suzuki India Limited (MSIL), автопроизводитель, расположенный в Нью-Дели (Индия), сообщает о продаже 62 996 транспортных средств на СПГ в финансовом 2014-2015 году, отмечая рост на 23 % по сравнению с предыдущим периодом. Maruti Suzuki, первая компания, представившая автомобили на СПГ в Индии в 2010 г., предлагает шесть двухтопливных моделей (СПГ + бензин) – Alto, Alto K-10, Celerio, Wagon R, Eeco и Ertiga.

В таких городах, как Дели и Мумбай, где достаточно развита инфраструктура по заправке автомобилей СПГ, почти 50 % продаж Wagon R, Eeco и Ertiga приходится на газовые модели.

<http://www.ngvglobal.com/blog/maruti-suzuki-reports-23-growth-in-fy-ngv-sales-0411>

Перевод Александры Хлыстовой



Автомобиль Celerio

Мировой рынок КПГ по состоянию на апрель 2015 г.

| Страна | Парк ГБА | Сеть АГНКС | Спрос, млн нм ³ в год | ГБА на 1 АГНКС | Реализация ПГ на 1 АГНКС, нм ³ в год | Потребление ПГ на 1 ГБА, нм ³ в год |
|--------------------------|-----------|------------|----------------------------------|----------------|---|--|
| Австралия | 3 110 | 52 | – | 60 | – | – |
| Австрия | 8 332 | 180 | 38,40 | 46 | 213 333 | 4 609 |
| Алжир | 215 | 4 | – | 54 | – | – |
| Аргентина | 2 487 349 | 1 939 | 2 877,60 | 1 283 | 1 484 064 | 1 157 |
| Армения | 244 000 | 345 | 318,36 | 707 | 922 783 | 1 305 |
| Афганистан | 1 701 | 2 | – | 851 | – | – |
| Бангладеш | 220 000 | 585 | 1 098,60 | 376 | 1 877 949 | 4 994 |
| Белоруссия | 4 600 | 42 | 12,36 | 110 | 294 286 | 2 687 |
| Бельгия | 1 053 | 20 | – | 53 | – | – |
| Болгария | 61 320 | 110 | 180,00 | 557 | 1 636 364 | 2 935 |
| Боливия | 300 000 | 178 | 315,34 | 1 685 | 1 771 560 | 1 051 |
| Босния и Герцеговина | 35 | 3 | – | 12 | – | – |
| Бразилия | 1 781 102 | 1 805 | 1 734,36 | 987 | 960 864 | 974 |
| Великобритания | 663 | 22 | 36,00 | 30 | 1 636 364 | 54 299 |
| Венгрия | 5 118 | 19 | 3,60 | 269 | 189 474 | 703 |
| Венесуэла | 90 000 | 166 | 97,80 | 542 | 589 157 | 1 087 |
| Вьетнам | 462 | 7 | – | 66 | – | – |
| Германия | 98 172 | 921 | 216,00 | 107 | 234 528 | 2 200 |
| Греция | 1 000 | 7 | 15,96 | 143 | 2 280 000 | 15 960 |
| Грузия | 80 600 | 100 | – | 806 | – | – |
| Дания | 104 | 7 | – | 15 | – | – |
| Доминиканская Республика | 10 909 | 15 | 1,10 | 727 | 73 600 | 101 |
| Египет | 207 617 | 181 | 685,32 | 1 147 | 3 786 298 | 3 301 |
| Индия | 1 800 000 | 936 | 1 958,52 | 1 923 | 2 092 436 | 1 088 |
| Индонезия | 6 300 | 46 | 7,20 | 137 | 156 522 | 1 143 |
| Иран | 4 068 632 | 2 268 | 8 760,00 | 1 794 | 3 862 434 | 2 153 |
| Ирландия | 3 | – | – | – | – | – |
| Исландия | 2 016 | 6 | 2,02 | 336 | 336 000 | 1 000 |
| Испания | 3 990 | 86 | 94,08 | 46 | 1 093 953 | 23 579 |
| Италия | 885 300 | 1 060 | 960,00 | 835 | 905 660 | 1 084 |
| Казахстан | 20 | 1 | – | 20 | – | – |
| Канада | 14 205 | 89 | – | 160 | – | – |
| Катар | 76 | 1 | – | 76 | – | – |
| Китай | 3 994 350 | 6 502 | – | 614 | – | – |
| Колумбия | 500 000 | 800 | 540,00 | 625 | 675 000 | 1 080 |
| Кыргызстан | 6 000 | 6 | – | 1 000 | – | – |
| Латвия | 29 | 2 | 0,03 | 15 | 15 420 | 1 063 |
| Литва | 380 | 5 | 2,40 | 76 | 480 000 | 6 316 |
| Лихтенштейн | 143 | 2 | 1,20 | 72 | 600 000 | 8 392 |
| Люксембург | 270 | 7 | 0,72 | 39 | 102 857 | 2 667 |
| Македония | 54 | 1 | 0,25 | 54 | 252 000 | 4 667 |
| Малайзия | 55 999 | 184 | 177,60 | 304 | 965 217 | 3 171 |

| | | | | | | |
|--------------------|-------------------|---------------|------------------|------------|------------------|--------------|
| Мексика | 2 620 | 8 | 16,44 | 328 | 2 055 000 | 6 275 |
| Мозамбик | 1 380 | 5 | 2,88 | 276 | 576 000 | 2 087 |
| Молдавия | 2 200 | 24 | 4,80 | 92 | 200 000 | 2 182 |
| Мьянма | 27 137 | 45 | – | 603 | – | – |
| Нигерия | 3 798 | 8 | – | 475 | – | – |
| Нидерланды | 7 573 | 147 | 29,90 | 52 | 203 429 | 3 949 |
| Новая Зеландия | 201 | 14 | – | 14 | – | – |
| Норвегия | 667 | 22 | 25,80 | 30 | 1 172 727 | 38 681 |
| ОАЭ | 4 179 | 18 | 12,60 | 232 | 700 000 | 3 015 |
| Пакистан | 3 700 000 | 2 997 | – | 1 235 | – | – |
| Панама | 15 | – | – | – | – | – |
| Перу | 183 786 | 237 | 222,72 | 775 | 939 747 | 1 212 |
| Польша | 3 590 | 88 | 19,20 | 41 | 218 182 | 5 348 |
| Португалия | 586 | 5 | 13,92 | 117 | 2 784 000 | 23 754 |
| Россия | 111 050 | 271 | 436,30 | 410 | 1 609 963 | 3 929 |
| Румыния | 2 | 2 | – | 1 | – | – |
| Сербия | 878 | 10 | 11,16 | 88 | 1 116 000 | 12 711 |
| Сингапур | 4 638 | 3 | 12,36 | 1 546 | 4 120 000 | 2 665 |
| Словакия | 426 | 14 | 9,60 | 30 | 685 714 | 22 535 |
| Словения | 58 | 7 | 1,08 | 8 | 154 286 | 18 621 |
| США | 152 300 | 1 615 | 930,24 | 94 | 576 000 | 6 108 |
| Таджикистан | 10 600 | 53 | 49,56 | 200 | 935 094 | 4 675 |
| Таиланд | 466 845 | 499 | – | 936 | – | – |
| Танзания | 55 | 1 | – | 55 | – | – |
| Тринидад и Тобаго | 3 535 | 11 | 21,60 | 321 | 1 963 636 | 6 110 |
| Тунис | 34 | 1 | – | 34 | – | – |
| Туркмения | – | 1 | – | – | – | – |
| Турция | 3 850 | 14 | 50,40 | 275 | 3 600 000 | 13 091 |
| Узбекистан | 450 000 | 213 | – | 2 113 | – | – |
| Украина | 170 000 | 325 | 624,00 | 523 | 1 920 000 | 3 671 |
| Филиппины | 20 | 1 | – | 20 | – | – |
| Финляндия | 1 800 | 26 | 4,99 | 69 | 192 000 | 2 773 |
| Франция | 13 550 | 311 | 72,00 | 44 | 231 511 | 5 314 |
| Хорватия | 329 | 3 | 1,92 | 110 | 640 000 | 5 836 |
| Черногория | – | 1 | – | – | – | – |
| Чешская Республика | 8 817 | 101 | 162,00 | 87 | 1 603 960 | 18 374 |
| Чили | 8 164 | 15 | 38,40 | 544 | 2 560 000 | 4 704 |
| Швейцария | 11 640 | 167 | 19,32 | 70 | 115 689 | 1 660 |
| Швеция | 46 715 | 213 | 144,00 | 219 | 676 056 | 3 083 |
| Эквадор | 40 | 1 | – | 40 | – | – |
| Эстония | 340 | 5 | 1,80 | 68 | 360 000 | 5 294 |
| ЮАР | 937 | 3 | – | 312 | – | – |
| Южная Корея | 40 532 | 201 | 1 116,00 | 202 | 5 552 239 | 27 534 |
| Япония | 42 590 | 314 | – | 136 | – | – |
| ИТОГО | 22 411 706 | 26 714 | 24 353,02 | 839 | 911 620 | 1 087 |

Metanograph по данным NGV Communications Group

Abstracts of articles

P. 15

Numerical modeling of the car's metal-cylinder thermal state when filling methane

Svetlana Belousova, Vladimir Zarubin, Yakov Osadchy

This article is a continuation of [1,2].

A mathematical model of the thermal state of typical automobile cylinders, which is used in numerical simulations of temperature and pressure at the metal-methane filling the balloon is created. This process is accompanied by the uneven heating of the main structural elements of power that influences their mechanical interaction and can shorten the service life of the cylinder. Metal-bearing metal cylinder liner, reinforced composite materials on the outer surface of the cylindrical shell is considered. A revised version of the equation of methane state, used in the simulation, and most closely is correlated with the experimental data. The results of numerical simulations at different ambient temperatures and the rate of filling affecting the finite mass of methane in the cylinder at a fixed final pressure are presented. The possibility of increasing the final weight of methane by cooling the cylinder in the pause between steps is required.

Keywords: numerical simulation, thermal model of the balloon, the equation of state of methane filling the balloon with the natural convection heat transfer.

References

1. S.Y. Belousov, V.S. Zarubin, Osadchy Y.G. Mathematical model of thermal processes in automotive methane cylinders // *Alternative Fuel Transport*. – 2014. – № 4. – P. 5–13.
2. S.Y. Belousov, V.S. Zarubin, Osadchy Y.G. Numerical modeling of the thermal state of the metal-cylinder in spending methane // *Alternative Fuel Transport*. – 2015. – № 1. – S. 12-21.
3. Setzmann U., Wagner W. A new equation of state and tables of thermodynamic properties for methane covering the range from melting line to 625 K at pressures up to 100 MPa // *J. Phys. Chem. Ref. Data*. – 1991. – V. 20. – № 6. – P. 1061-1155.
4. Physical encyclopaedic dictionary / Ch. Ed. AM Prokhorov. – M.: Sov. Encyclopedia, 1983. – P. 928.
5. Handbook of physical and technical fundamentals of cryogenics / Ed. MP Malkov. – M.: Energoatomizdat, 1985. – P. 432.
6. Physical quantities: Manual / Ed. I.S. Grigoryev, E.Z. Meilikhov. – M.: Energoatomizdat, 1991. – P. 1232.
7. Alternative fuels for internal combustion engines / Under total. Ed. A.A. Alexandrov, V.A. Markov. – M.: Ltd SIC "Engineer", LLC "Oniko-M", 2012. – P. 791.
8. Kirillin V.A., Sychev V.V., Sheyndlin A.E. Technical thermodynamics. – M.: Nauka, 1979 – P. 512.
9. Zarubin V.S. Mathematical modeling technique. – M.: Publishing House of the MSTU. NE Bauman, 2010. – P. 496.
10. RD 3112194-1095-03. Guidelines for the organization and operation of natural gas vehicles operating on compressed natural gas. The Ministry of Transport of the Russian Federation. Road Department. FSUE JARI. 2002 – 59.
11. GOST R 51753-2001. High pressure cylinders for compressed natural gas used as a fuel for automotive vehicles. General specifications. – M.: Publisher IPC Standards, 2001. – 20 s.
12. The theory of heat and mass transfer / Ed. A.I. Leontiev. – M.: Publishing House of the MSTU. N.E. Bauman, 1997. – P. 684.
13. Basics of heat transfer in the aviation and space technology / Ed. V.K. Koshkin. – M.: Engineering, 1975. – P. 624.
14. V.S. Chirkin Thermal properties of materials for nuclear technology: A Handbook. – M.: Atomizdat, 1968. – P. 484.
15. Structural materials: Reference / Under total. Ed. B.N. Arzamasova. – M.: Engineering, 1990. – P. 688.

P. 25

The prospects for natural gas motor fuel market in Republic of Sakha (Yakutia)

Anton Sokolov

This article refers to the necessity of the market development of CNG and LNG in Yakutia. Current conditions of natural gas fuel market in the republic are analyzed. Forecast of the fuel market development in moderate and strategic scenarios is made.

Keywords: Republic of Sakha (Yakutia), natural gas fuel, methane, Energy strategy.

References

1. Energy Strategy of RS (Y) for the period up to 2030 - Yakutsk, 2009. – 417 p.
2. Official data of JSC "Sakhatransneftegaz" URL: <http://www.sakhatransneftegaz.ru/company/units/9> (the date of circulation: 02.16.2015).

P. 32

Comparative analysis of the economic evaluation usage On a gas-vehicle car

Merzlikina Xenia, Солодовников Дмитрий

In this article the economic benefit from use of the gas equipment on a car is calculated. Positive and negative characteristics of the gas equipment are provided. The conclusion was drawn that gas fuel in operation is more favorable than traditional liquid fuel in 1,11 ... 1,4 times to the car, but not in 2 ... 2,5 times as are widely advertised.

Keywords: car, gas equipment, gas, economy.

References

1. Installation diagrams gas equipment: carb / injector. How it works: the answers to all the questions arising from the operation of hbo. Gas cylinder equipment. – M.: transport, 2008. – P.56 ISBN: 967-854-921-2,978-6-17537-035-3.
2. Afonin S. Gas equipment vehicles. – M.: transport, 2001. – P.32
3. Gas-cylinder equipment by BRC (Italy). Operating instructions. [Http://www.brcgasequipment.ua/documents/guidegbo/brc.pdf](http://www.brcgasequipment.ua/documents/guidegbo/brc.pdf) (the date of circulation of 10.09.2014).
4. [Http://ford-belgorod.ru](http://ford-belgorod.ru) (the date of circulation of 09.10.2014).

P. 36

Aviation powerplant on hydrogen-air solid polymer fuel cell

Ivan Baranov, Vladimir Fateev, Vladimir Porembsky, Alexander Kalinnikov

The first Russian UAV with the main fuel cell power plant is presented. The features of specialized fuel cell related to water balance are reviewed. The prospects of the use of hydrogen fuel cells in aviation, particularly hydrogen storage on the aircraft board are discussed.

Keywords: aviation, fuel cell, hydrogen.

References

1. <http://www.tupolev.ru/Russian/Show.asp?SectionID=82>
2. <https://hsapps.utc.com/powersystems/products/aps2000pds.htm>
3. <http://www.aerosila.ru/>
4. http://www.horizonfuelcell.com/fuel_cell_stacks.htm
5. <http://www.onr.navy.mil/Media-Center/Fact-Sheets/Ion-Tiger.aspx>
6. Renouard-Vallet G., Saballus M., Schmithals G., Schirmer J., Kallo J., Improving the environmental impact of civil aircraft by fuel cell technology: concepts and technological progress, *Energy & Environmental Science*, 2010, 3, 1458-1468.

7. <http://www.nasa.gov/centers/dryden/news/ResearchUpdate/Helios/>
8. <http://www.geliymash.ru/products>
9. <http://www.airwar.ru/enc/craft/an24.html>
10. Kozlov A.I. Fateev V.N. Hydrogen Energy. Current status, problems and prospects. – M.: VNIIGAZ, 2009. – P. 560.
11. Grigoriev S.A., Kalinnikov A.A., Fateev V.N., Wragg A.A. Numerical optimization of bipolar plates and gas diffusion layers for PEM fuel cells // Journal of Applied Electrochemistry. – 2006. – 36:991-996.
12. Grigoriev S.A., Kalinnikov A.A., Fateev V.N., Wragg A.A. Numerical optimization of bipolar plates and gas diffusion layers for PEM fuel cells // Journal of Applied Electrochemistry. – 2006. – 36:991-996.
13. Baranov I.E. Kalinnikov A.A. Korobtsev S.V. and others. Power plant for UAV fuel cell: // perspectives of energy economics, technology, ecology. – 2014. – № 4. – P. 31-36.

P. 45

Experience of creating gas treatment systems for gas locomotives running on CNG Preliminary field testing

Vladimir Rudenko

The article is devoted to the problem of increasing the stability of the gas treatment systems with relatively long-term operation of the main and shunting locomotives that use liquefied natural gas as a motor fuel. The mechanisms of blockages formation in valves and piping systems, as in the work, and at petrol stations due to the presence of impurities in the LNG are reviewed. Measures of eliminating the causes of equipment failures gas treatment systems are presented, to provide satisfactory operation in the presence of LNG to 8 ... 10% of impurities.

Keywords: liquefied natural gas (LNG), gas turbine engine (GTE), gas turbine, gas piston engines (GPA).

P. 51

Influence of timing angles of methanol injection and rapeseed methyl ester on formation of nitrogen oxides in the diesel cylinder

Vitaliy Likhhanov, Viktor Kopchikov, Alexander Fominyh

The article presents the results of a study of the working process of a diesel 2h 10.5 / 12.0 when running on methanol and rapeseed methyl ester using dual fuel system. The article presents the influence of the use of methanol and rapeseed methyl ester on formation of nitrogen oxides in a diesel engine cylinder.

Keywords: diesel, nitrogen oxides, alternative fuels, rapeseed methyl ester, methanol, dual fuel supply system.

References

1. Likhhanov V.A., Popov V.M. Work on methanol diesel dual fuel system // engine building. – 1986. – № 8. – P. 47.
2. Likhhanov V.A. Improvement of operational indicators of tractor diesel engines through the use of alternative fuels: thesis of PhD in Technical Sciences. – Kirov, 1999.
3. Likhhanov V.A., Lopatin O.P., Anfilatov A.A. Reduction of nitrogen oxides in the exhaust gas of a diesel engine through the use of methanol using a dual fuel system // Tractors and farm machinery. – 2012. – № 5. – P. 5-8.

P. 55

Experimental research of diesel engine running on oil diesel fuel and linseed oil mixtures

Vladimir Markov, Sergey Devyanin, Larisa Spiridonova

Characteristic features of using mixed biofuels with linseed oil in diesel engines are considered. Results of experimental research of a diesel engine of the type D-245.12S running on diesel fuel and linseed oil mixtures are shown. Dependence of fuel efficiency and exhaust gases emissions characteristics on mixed biofuels components is shown.

Keywords: diesel engine, diesel fuel, linseed oil, mixed biofuel.

References

1. Alternative fuels for internal combustion engines / A.A. Aleksandrov, I.A. Argali, V.A. Markov et al., Ed. A.A. Alexandrov, V.A. Markov. – M.: Ltd SIC "Engineer", LLC "Oniko-M", 2012. – P.791.
2. Devyanin S.N., Markov V.A., Semenov V.G. Vegetable oils and fuels based on them for diesel engines. – M.: Publishing Center FSEIHPE "MSAU them. V.P. Goryachkina", 2008. – P.340.
3. Petrov S.N., Malanin O.O. Influence of storage conditions on the quality indicators of sunflower and linseed oil // Fats industry. – 2012. – № 1. – P. 16-18.
4. V.V. Ladigin, L.T. Prokhorov, L.N. Zhuravlev et al. Chemical composition and oxidative stability of edible linseed oil // Fats industry. – 2011. – № 5. – P. 12-15.
5. Goering C.E., Daugherty M.J. Energy Accounting for Eleven Vegetable Oil Fuels // Transactions of the ASAE. – 1982. – Vol. 25. – № 5. – P. 1209-1215.
6. Goering C.E., Schwab A.W., Daugherty M.J., Pryde E.H., Heakin A.J. Fuel Properties of Eleven Vegetable Oils // Transactions of the ASAE. – 1982. – Vol. 25. – № 6. – P. 1472-1477, 1483.
7. Knorr W., Daute P., Grutzmacher R., Hofer R. Development of New Fields of Application for Linseed Oil // Fett Wissenschaft Technologie. – 1995. – Jg. 97. – № 5. – S. 165-169.
8. Agarwal A.K., Das L.M. Biodiesel Development and Characterization for Use as a Fuel in Compression Ignition Engines // Transactions of the ASME. Journal of Engineering for Gas Turbines and Power. – 2001. – Vol. 123. – № 2. – P. 440-447.
9. Agarwal A.K., Bijwe J., Das L.M. Effect of Biodiesel Utilization of Wear of Vital Parts in Compression Ignition Engine // Transactions of the ASME. Journal of Engineering for Gas Turbines and Power. – 2003. – Vol. 125. – № 2. – P. 604-611.
10. Agarwal A.K., Bijwe J., Das L.M. Wear Assessment in a Biodiesel Fueled Compression Ignition Engine // Transactions of the ASME. Journal of Engineering for Gas Turbines and Power. – 2003. – Vol. 125. – № 3. – P. 820-826.
11. Sebedio J.L., Prevost J., Grandgirard A. Heat Treatment of Vegetable Oils. I. Isolation of the Cyclic Fatty Acid Monomers From Heated Sunflower and Linseed Oils // Journal of the American Oil Chemists' Society. – 1987. – Vol. 64. – № 7. – P. 1026-1032.

P. 65

A method for determination of mechanical loss in the internal combustion engine

Igor Alexandrov

The paper presents a method for determining the mechanical losses in the internal combustion engine. The principal difference between the process - the rotation of the internal combustion engine is made by means of compressed air. This condition increases the reliability of the results.

Keywords: mechanical losses in the internal combustion engine.

References

1. B.S. Stefanovsky Testing of internal combustion engines / B.S. Stefanovsky. – M.: Engineering, 1972. – P. 368.
2. Internal combustion engines. Bk. 2. Dynamics and design: Textbook. for high schools / V.N. Lukanin, I.V. Alekseev, MG Shatrov et al., Eds. V.N. Lukanin and M.G. Shatrov. – 2nd ed., Rev. and add. – M.: Higher School, 2005. – P. 400.
3. Dyachenko N.H. The theory of internal combustion engines / N.H. Dyachenko. – L.: Mechanical Engineering, 1974. – 456 p.
4. Dyachenko, V.G. The theory of internal combustion engines: the textbook / VG Dyachenko. – Kharkov: HNADU, 2009. – P. 500.
5. The copyright certificate number 177209 A1. A method of determining the value of the mechanical losses of the internal combustion engine / I.K. Alexandrov, G.I. Sharov. – Stated. 04.07.1989; publ. 08.07.1992 // BI – № 41.

Авторы статей в журнале № 3 (45) 2015 г.

Александров Игорь Константинович,
д.т.н., профессор, зав. кафедрой ГОУ ВПО Вологодский
государственный технический университет,
Вологда, 3 Интернационала, д. 5-80,
р.т. (8172) 72-47-70, м.т. 8 921 714-91-40,
e-mail: alex@mh.vstu.edu.ru

Баранов Иван Евгеньевич,
начальник лаборатории НИЦ «Курчатовский Институт»,
к.ф.-м.н., тел.: 8 499 196 79 24, м.т. 8 906 097 93 89,
e-mail: iv3000@mail.ru

Белоусова Светлана Юрьевна,
ведущий инженер ЗАО НПП «Маштест»,
тел. (495) 513-46-92, e-mail: svtnbelousova@gmail.ru

Девянин Сергей Николаевич,
д.т.н., профессор, заведующий кафедрой
«Тракторы и автомобили» Московского государственного
агроинженерного университета им. В.П. Горячкина
(МГАУ им. В.П. Горячкина), тел. 8-917-519-63-94

Зарубин Владимир Степанович,
д.т.н., Московский государственный технический
университет имени Н.Э. Баумана, профессор кафедры
«Прикладная математика»,
м.т. (915) 427-36-11, e-mail: zarubin@bmstu.ru

Калинников Александр Александрович,
начальник лаборатории
НИЦ «Курчатовский Институт», тел.: 8 (499) 196-75-66,
e-mail: aa.kalinnikov@gmail.com

Копчиков Виктор Николаевич,
инженер ФГБОУ ВПО «Вятская ГСХА»,
тел.: 8-912-736-09-50, e-mail: kopchikov_viktor@mail.ru

Лиханов Виталий Анатольевич,
д.т.н., академик РАТ, профессор, заведующий кафедрой ДВС
ФГОУ ВПО «Вятская государственная
сельскохозяйственная академия»,
610017, г. Киров, Октябрьский проспект, 133,
р.т. 8 (8332) 57-43-07, e-mail: info@vgsha.info

Марков Владимир Анатольевич,
д.т.н., профессор кафедры «Теплофизика»
МГТУ им. Н.Э. Баумана, м.т. 8 917 584-49-54,
р.т. (499) 263-69-18, e-mail: markov@power.bmstu.ru

Мерзликина Ксения Ивановна,
магистрант 1 курса Белгородского государственного
технологического университета им. В. Г. Шухова,
тел. +79155638530, e-mail: xenia_mrz@mail.ru

Осадчий Яков Григорьевич,
д.т.н., генеральный директор ЗАО МАШТЕСТ,
р.т. (495) 513-40-98, e-mail: mashtest@mashtest.ru

Порембский Владимир Игоревич,
начальник отдела НИЦ «Курчатовский Институт»,
тел.: 8 499 196 75 66, e-mail: porem@mail.ru

Руденко Владимир Федорович,
заслуженный конструктор РФ, к.т.н.,
м.т. 916 553-67-69, e-mail: vfrudenko@yandex.ru

Соколов Антон Николаевич,
старший научный сотрудник ФГБУН
Институт проблем нефти и газа СО РАН, к.э.н.,
тел.: (4112) 33-56-74, м.т. 924 867-46-39,
e-mail: anton.new@mail.ru

Солодовников Дмитрий Николаевич,
к.т.н., доцент кафедры сервиса транспортных и технологи-
ческих машин Белгородского государственного технологи-
ческого университета имени В.Г. Шухова, м.т. 8 904 094-41-09

Спиридонова Лариса Витальевна,
доцент кафедры физики МАДГТУ «МАДИ», к.т.н.,
м.т. 8 903 732-24-75

Фатеев Владимир Николаевич,
заместитель директора Центра физико-химических
технологий НИЦ «Курчатовский институт»,
профессор, д.х.н., тел.: (499) 196 94 29,
м.т. 916 210-03-67, 903 773-28-76, e-mail: Fateev_VN@nrcki.ru

Фоминих Александр Валерьевич,
инженер ФГБОУ ВПО «Вятская ГСХА»,
тел.: (953) 131-71-16, e-mail: aleksander.fom@yandex.ru

Contributors to journal issue № 3 (45) 2015

Alexandrov Igor,
PhD. Tekhn. Sciences,
professor of Technical University (Vologda),
phone: + 7 921 714-91-40,
e-mail: alex@mh.vstu.edu.ru

Baranov Ivan,
head of Laboratory, Research Center «Kurchatov Institute»,
tel.: +7 (495) 196-79-24, e-mail: iv3000@mail.ru

Belousova Svetlana,
senior engineer, JSC Scientific
and Production Enterprise «Mashtest»,
phone: + 7 (495) 513-46-92,
e-mail: svtnbelousova@gmail.ru

Devyanin Sergey,
D. Sc. (Eng.), professor, head of «Tractors and Automobiles»
department of the Moscow State University for Agriculture
and Engineering n.a. V.P. Goryachkin,
m.t. + 7 917 519-63-94

Fateev Vladimir,
deputy director of the Research Center
«Kurchatov Institute», Prof.,
tel. : +7 (495) 196 94 29, e-mail: Fateev_VN@nrcki.ru

Fominyh Alexander,
engineer of Vyatka State Agricultural Academy,
phone: +7(953)-131-71-16,
e-mail: aleksander.fom@yandex.ru

Kalinnikov Alexander,
head of laboratory, Research Center «Kurchatov Institute»,
phone: +7 (499) 196-75-66,
e-mail: aa.kalinnikov@gmail.com

Kopchikov Viktor,
engineer of Vyatka State Agricultural Academy,
phone: +7 (912) 736-09-50,
e-mail: kopchikov_viktor@mail.ru

Likhanov Vitaly,
Academician of RTA, Professor of Vyatka State Agricultural
Academy, Dr. Sci. Tech., phone: +7 (8332) 57-43-07,
e-mail: info@vgsha.info

Markov Vladimir,
D. Sc. (Eng.), professor of «Heat Physics» department of the
Bauman Moscow State Technical University,
phone: + 7 917 584-49-54

Merzlikina Xenia,
master of 1 course,
Belgorod State Technological University Shukhov,
phone: +7 915 563-85-30, e-mail: xenia_mrz@mail.ru

Osadchy Yakov,
PhD, Engng, general manager, JSC Scientific and Production
Enterprise «Mashtest», phone: + 7 (495) 513-40-98,
e-mail: mashtest@mashtest.ru

Porembsky Vladimir,
head of department, Research Center «Kurchatov, Institute»,
phone: +7 (495) 196-75-66,
e-mail: porem@mail.ru

Rudenko Vladimir,
honoured draughtsman of the RF, PhD. Tekhn.,
e-mail: vfrudenko@yandex.ru

Sokolov Anton,
senior research fellow, cand. sci. (econ.), Institute of oil
and gas problems SB RAS, phone: + 7 (4112) 33-56-74,
e-mail: anton.new@mail.ru

Solodovnikov Dmitriy,
associate professor of Belgorod State Technological University
Shukhov, phone: + 7 904 094-41-09

Spiridonova Larissa,
assistant professor of physics MADI, cand. sci.,
phone: + 7 903 732-24-75

Zarubin Vladimir,
Doctor of Technical Sciences, professor
of the Bauman Moscow State Technical University,
phone: +7 (915) 427-36-11,
e-mail: zarubin@bmstu.ru