



ТРАНСПОРТ НА АЛЬТЕРНАТИВНОМ ТОПЛИВЕ



№ 1 (61) 2018



«Газпром газомоторное топливо»:
5 лет поступательного развития

Международный опыт служит российскому рынку

Новый электрогрузовик Tesla



VIII Международный научно-технический семинар

ГАЗОМОТОРНОЕ ТОПЛИВО. ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТС

13 апреля 2018 года
в ООО «Газпром трансгаз Томск»



ОРГАНИЗАТОР СЕМИНАРА
АОГМТ «НГА»

СООРГАНИЗАТОР
ООО «ГАЗПРОМ ТРАНСГАЗ ТОМСК»

На предстоящем семинаре особое внимание будет уделено вопросам организации безопасной эксплуатации транспортных средств (ТС), использующих природный газ в качестве моторного топлива, будут рассмотрены особенности эксплуатации газобаллонного оборудования для ТС на территории Российской Федерации, международный опыт работы в области обеспечения безопасной эксплуатации газобаллонных автомобилей, а также актуальные проблемы транспортировки, хранения и использования газомоторного топлива.

Предложения по участию следует направлять электронной почтой на адрес:
Y_Drygina@vniigaz.gazprom.ru
или сообщить по тел.: **+7 (498) 657-41-35**

13 апреля 2018 года
в ООО «Газпром трансгаз Томск»
(г. Томск, ул. Фрунзе, д. 9)



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

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

Периодичность

6 номеров в год

Главный редактор

Д.В. Люгай

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

Члены редакционной коллегии

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 отдела информационного обеспечения
ИТЦ ООО «Газпром трансгаз Москва»,
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

координатор проекта «Голубой коридор»

В.С. Сафонов

советник генерального директора ООО «Газпром ВНИИГАЗ»,
д.т.н., профессор

В.Н. Фатеев

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

В.С. Хахалкин

главный инженер – заместитель генерального директора
ООО «Газпром газомоторное топливо»

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 типографии «ГалерПринт»

109202, г. Москва, ул. 1-ая Фрезерная, д. 2/1

Номер заказа

Сдано на верстку 15.12.2017 г.

Подписано в печать 15.01.2018 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

В НОМЕРЕ



| | |
|--|----|
| Поздравления журналу «Транспорт на альтернативном топливе» в связи с 10-летием со дня выхода в свет первого номера | 3 |
| «Газпром газомоторное топливо»: 5 лет поступательного развития | 5 |
| В правительственной комиссии ТЭК обсудили планы развития газомоторного рынка | 6 |
| Движение газомоторного топлива по Сахалину | 7 |
| Международный опыт служит российскому рынку | 8 |
| Козлов С.И., Люгай С.В. Математическая модель действительного и теоретического циклов дизеля с высоким наддувом | 10 |
| Лиханов В.А., Гребнев А.В., Скрябин М.Л., Торопов А.Е. Исследование влияния метанола-топливной эмульсии в дизеле 4Ч 11,0/12,5 и природного газа в дизеле 4ЧН 11,0/12,5 на показатели процесса сгорания, объемное содержание и массовую концентрацию оксидов азота в зависимости от нагрузки | 22 |
| Шишков В.А. Развитие методов снижения выбросов двухфазного криогенного продукта при испытании энергетической установки | 28 |
| Кавтарадзе Р.З., Натриашвили Т.М., Глonti М.Г., Бахрамов Э.В. Частично-гомогенное сгорание традиционных и альтернативных топлив в дизелях <i>Часть 1. Способы гомогенизации сгорания</i> | 37 |
| Перечень поручений по итогам совещания о развитии проектов производства сжиженного природного газа | 53 |
| Газомоторная техника будет использоваться во время проведения чемпионата мира по футболу ... | 57 |
| Газозаправочная сеть «Газпром» увеличится в Уральском федеральном округе | 59 |
| Будущее здесь | 60 |
| В Испании запущен первый в мире поезд, работающий на сжиженном природном газе | 63 |
| Снегоуборочная машина на метане | 64 |
| Водородная заправка в Орли | 65 |
| Паром Viking Grace: пять лет успеха | 68 |
| Стратегия GASUM | 70 |
| Пронин Е.Н. Электрогрузовик Tesla Semi | 72 |
| Abstracts of articles | 74 |
| Авторы статей в журнале № 1 (61) 2018 г. | 76 |
| Перечень статей, опубликованных в журнале «Транспорт на альтернативном топливе» в 2017 г. | 77 |

На обложке: образцы российской техники, работающей на природном газе



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 (NGVA), is affiliated with IGU

Published

6 issues a year

Editor-in-Chief

Lyugai, D.V.

*Director General of Gazprom VNIIGAZ,
Doctor of Engineering*

Editorial board members

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

Fateev, V.N.

*Deputy Director of RNC Kurchatovsky Institute,
Doctor of Chemistry*

Gorbachev, S.P.

Professor, Gazprom VNIIGAZ, Doctor of Engineering

Kavtaradze, R.Z.

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

Khakhalkin, V.S.

*Chief technology officer,
deputy director general LLC «Gazprom Gas-Engine Fuel»*

Klimova, T.V.

*Head of Information support department, Engineering
and Technical center, Gazprom Transgaz Moskva LLC,
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.

Coordinator of the «Blue Corridor» project

Safonov, V.S.

Adviser to director general Gazprom VNIIGAZ,

doctor of engineering, professor

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 15.12.2017

Endorsed to be printed on 15.01.2018

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

| | |
|--|----|
| Celebrating the 10th year anniversary of the journal. | 3 |
| Gazprom Gas Engine Fuel: 5 Years of Progressive Development | 5 |
| Governmental Commission of the Fuel and Energy Complex Discussed the Plans on Developing the Gas Engine Market | 6 |
| Movement of Gas Engine Fuel through Sakhalin | 7 |
| International experience serves the Russian market. | 8 |
| Sergey Kozlov, Stanislav Lyugay The mathematical model of the actual and theoretical cycles of a diesel with a high supercharging. | 10 |
| Vitaly Likhonov, Alexey Grebnev, Maxim Skryabin, Alexey Toropov Study of the effect of the application of methanol-fuel emulsion in a diesel engine 4Ч 11,0/12,5 and the impact of the use of natural gas in diesel 4ЧH 11,0/12,5 at the performance of the combustion process, the volume content and mass concentration of nitrogen oxides depending on the load. | 22 |
| Vladimir Shishkov Development of methods of reduction of emissions of a biphasic cryogenic product at test of power installation | 28 |
| Revaz Kavtaradze, Tamaz Natriashvili, Merab Glonti, Elshan Bahramov Partially homogeneous combustion traditional and alternative fuel in diesel engines <i>Part 1. Ways of combustions homogenization</i> | 37 |
| List of instructions for the meeting on the development of liquefied natural gas production projects | 53 |
| Network of Gas Filling Stations «Gazprom» to Expand in the Urals Federal District | 59 |
| The future is here | 60 |
| In Spain, launched the world's first train on liquefied natural gas. | 63 |
| Snow-removing machine on methane. | 64 |
| Hydrogen Filling Station in Orly | 65 |
| Ferry Viking Grace: Five Years of Success | 68 |
| GASUM's Strategy | 70 |
| Eugene Pronin Electric truck Tesla Semi | 72 |
| Abstracts of articles | 74 |
| Contributors to journal issue № 1 (61) 2018 г. | 76 |
| List of articles published in Transport on alternative Fuel journal in 2017 | 77 |

ПОЗДРАВЛЕНИЯ журналу «Транспорт на альтернативном топливе» в связи с 10-летием со дня выхода в свет первого номера

**От генерального директора
ООО «Газпром газомоторное топливо»
Михаила Владимировича Лихачева**

Поздравляю редакцию научно-технического журнала «Транспорт на альтернативном топливе» с 10-летием!

Сегодня издание играет большую роль в информировании о развитии и применении экологичных видов топлива на транспорте. В составе редакционной коллегии – ключевые эксперты отрасли, освещающие яркие события и тенденции рынка, а также передовые технологические решения в сфере внедрения альтернативных видов топлива.

Для нашей страны, обладающей самыми большими запасами природного газа, расширение применения топлива EcoGas на транспорте является стратегической задачей. «Газпром газомоторное топливо» как единый оператор рынка от ПАО «Газпром» ведет комплексную работу по формированию федеральной газозаправочной сети и продвижению природного газа на рынке моторных топлив.

Одним из важнейших инструментов нашей «просветительской» работы является сотрудничество с Вашим изданием, на страницах которого мы публикуем новости компании «Газпром газомоторное топливо» и обзоры рынка.

Надеемся на дальнейшее плодотворное сотрудничество.

*Генеральный директор
ООО «Газпром газомоторное топливо»
М.В. Лихачев*

**От коллектива
Российского университета дружбы народов (РУДН)**

Уважаемая редакция!

Примите самые теплые поздравления по случаю десятилетия создания вашего журнала.

Несмотря на сравнительно «молодой» возраст, журналу за это время удалось обрести авторитетное имя, популярность в научной среде, завоевать деловую репутацию. Ваш журнал, безусловно, стал одним из лидеров в публикационной активности, направленной на развитие использования в качестве моторных различных альтернативных топлив, и прежде всего природного газа, в нашей стране и за рубежом.

Высокая информативность публикуемых материалов привлекает в ряды ваших авторов и читателей не только ученых, производственников, преподавателей вузов, но также аспирантов и студентов, в том числе магистрантов. Материалы журнала применяются не только в обзорных частях выпускных работ, диссертаций, но и при выполнении научных работ, создании новых учебных программ курсов высшего образования, разработке новых направлений современных технологий.

Желаем коллективу журнала творческих успехов, счастья, здоровья и дальнейшего успешного сотрудничества.

*Первый проректор – проректор по научной работе,
доктор философских наук, профессор Н.С. Кирабаев*

**От коллектива Московского автомобильно-дорожного
государственного технического университета**

Дорогие коллеги!

Быстро пролетели 10 лет с момента выхода первого номера вашего журнала. Широкий круг вопросов, освещаемых журналом, – от компримированного метана до осваивающих дороги электромобилей. В каждом номере мы можем познакомиться с актуальной информацией об инновационных проектах по применению

альтернативных источников энергии и прежде всего газомоторного топлива, их поддержке и реализации.

За эти годы издание получило престижный статус ВАКовского издания. «Транспорт на альтернативном топливе» стал форумом для обсуждения различных научных и практических материалов по свойствам и применению новых топлив и энергии. Крупные ученые и практики, в том числе и специалисты автотранспортной отрасли, постоянно публикуют в журнале свои статьи. Представляют материалы также студенты, аспиранты, преподаватели и профессора из МАДИ. Оперативность и высокая компетентность редколлегии журнала позволяют быстро и доступно изложить свои результаты, успеть вовремя с публикациями, защитить диссертации. Несомненно, издание стало постоянно пополняемым и обновляемым источником научных, нормативно-технических и справочных материалов. Статьи журнала являются реальным подспорьем для диссертационных, дипломных и выпускных работ.

За альтернативными топливами будущее, и ваш журнал делает это будущее настоящим. Мы в свою очередь постараемся писать больше статей для ТАТ. Желаем журналу дальнейших успехов, многих новых подписчиков, а также и дальше оставаться трибуной газомоторной отрасли.

*И.О. ректора Московского автомобильно-дорожного
государственного технического университета,
д.п.н., профессор В.Ф. Ницевич*

От коллектива ФГБОУ высшего образования «Московский политехнический университет» (Московский политех)

Коллектив Московского политехнического университета (Московский политех) искренне поздравляет сотрудников редакции «Транспорт на альтернативном топливе» с десятилетием со дня выхода в свет первого номера журнала.

Своей повседневной плодотворной работой журнал оказывает неоценимую информационную помощь в подготовке высококвалифицированных специалистов по переводу автомобильного транспорта на альтернативные виды топлива. Ваш журнал – единственное в стране издание, полностью посвященное этой тематике. Публикуемые оригинальные новейшие результаты исследований представляют собой информационное обеспечение современного учебного процесса и проектной деятельности Московского политеха. За прошедшее десятилетие в Московском политехе прошло обучение большое количество слушателей по проблеме перевода традиционных наземных транспортных средств на газомоторное топливо.

Журнал достиг заметных результатов в информационном обеспечении широкого применения и популяризации газомоторного топлива и стал одним из ведущих периодических изданий России. Публикуемые материалы ведущих ученых страны, специалистов и руководителей газовой промышленности формируют правильное понимание роли и значения газового топлива для обеспечения энергетической и экологической безопасности страны на национальном и международном уровне.

Высокий научный статус журнала подтвержден включением его в перечень изданий ВАК РФ. Соискателям предоставлена возможность публиковать результаты исследований по тематике кандидатских и докторских диссертаций. Журнал имеет высокий индекс в информационной базе РИНЦ. Своевременное и оперативное информационное обеспечение смежных отраслей национальной экономики способствует формированию позитивных тенденций и стимулов превращения альтернативных видов топлива в основной вид моторного топлива.

Отмечая десятилетний юбилей журнала, желаем коллективу редакции здоровья, благополучия, творческого долголетия и успехов в освещении экологических и энергетических проблем современного транспорта, оптимизма и веры в достижение поставленных целей. Выражаем сотрудникам замечательного издания глубокую благодарность за их высокий профессиональный труд и надеемся на дальнейшее эффективное сотрудничество.

*Директор по образовательным
и научным проектам Г.Х. Шарипзянова*

«Газпром газомоторное топливо»: 5 лет поступательного развития

В декабре 2017 года ООО «Газпром газомоторное топливо» отметило пятилетие со дня образования. Компания была создана по решению ПАО «Газпром» в 2012 году для расширения применения природного газа в качестве моторного топлива. За пять лет деятельности сформированы основы для комплексного развития рынка газомоторного топлива России.

Сегодня компании «Газпром газомоторное топливо» принадлежит 165 автомобильных газонаполнительных компрессорных станций (АГНКС) Группы «Газпром», 30 передвижных автогазозаправщиков (ПАГЗ), два комплекса сжижения природного газа (КСПГ) в Калининграде и Петергофе, Московский газоперерабатывающий завод. В период с 2015 по 2017 год компания построила 59 современных газозаправочных станций под брендом «Газпром», в стадии реализации находятся еще 54 проекта. Всего в настоящий момент на территории России расположена сеть из 277 сбытовых объектов «Газпром».

Для популяризации применения природного газа в качестве моторного топлива зарегистрирован товарный знак EcoGas, реализуются стимулирующие программы для физических и юридических лиц. Так, в рамках программы «Первый раз – первый газ» потребителям предлагается установить газовое оборудование на условиях аренды, а в рамках программы «EcoGas – экономия для вас» автовладельцам выдается карта с бесплатным объемом топлива.

Совместно с Республикой Татарстан реализуется программа, согласно которой из средств республиканского бюджета участнику программы возмещается до 30 % затрат на перевод транспортного средства на природный газ. В свою очередь «Газпром газомоторное топливо» начисляет объем бонусного топлива EcoGas на карту физических лиц или предоставляет возможность получения льготного займа под 1 % годовых для юридических лиц.

Стимулирующая программа «Все на ГАЗ!» разработана совместно с «Группой ГАЗ»: при покупке транспортного средства, работающего на природном газе, автовладелец получает топливную карту с фиксированным объемом топлива EcoGas в подарок.

За время действия маркетинговых программ «Газпром газомоторное топливо» их участниками стали более 4800 клиентов.

Результатом комплексной пятилетней работы «Газпром газомоторное топливо» по развитию рынка в России стал существенный прирост реализации природного газа в качестве топлива на 8-11 % в год. В 2016 году через сеть АГНКС «Газпром» продано 481 млн м³, по итогам 2017 года – 528 млн м³ природного газа, при этом число транспортных средств, использующих в качестве топлива EcoGas, увеличилось до 150 тыс. единиц.

Сегодня линейка техники, работающей на природном газе, включает около 150 моделей. Лидерами по объемам производства и поставки газомоторного транспорта являются концерны «КАМАЗ» и Группа «ГАЗ». В июле 2017 года «АВТОВАЗ» приступил к серийному производству двухтопливной версии седана Lada Vesta CNG.

Отдел внешних коммуникаций ООО «Газпром газомоторное топливо»



В. Зубков, В. Маркелов, М. Лихачев
на открытии АГНКС «Газпром» в Москве



Новая АГНКС сети «Газпром»
в Москве на ул. Левобережная

В правительственной комиссии ТЭК обсудили планы развития газомоторного рынка



В конце декабря состоялось заседание рабочей группы по использованию природного газа в качестве моторного топлива при правительственной комиссии по вопросам ТЭК, на котором были обсуждены планы Газпрома, Роснефти и других компаний по развитию газомоторного рынка РФ в 2018 году. Провел заседание заместитель директора департамента переработки нефти и газа Минэнерго РФ М. Лобанов.

Участники мероприятия подвели предварительные итоги реализации проектов по развитию сети газозаправочной инфраструктуры, программы субсидирования затрат на закупку автобусов и техники для ЖКХ, работающих на газомоторном топливе, региональных программ по развитию рынка газомоторного топлива в субъектах РФ, а также обсудили меры, направленные на обеспечение безопасной эксплуатации баллонов высокого давления для хранения газа, установленных на транспортные средства.

По информации субъектов РФ и компаний, в 2018 году ожидаются строительство и реконструкция более 60 объектов газозаправочной инфраструктуры в 25 субъектах РФ.

Начальником отдела железнодорожного машиностроения департамента автомобильной промышленности и железнодорожного машиностроения Минпромторга РФ С. Сальниковой были подведены предварительные итоги реализации в 2017 году программы субсидирования затрат на закупку автобусов и техники для ЖКХ, работающих на газомоторном топливе. В соответствии с планом было поставлено более 3,4 тыс. ед. техники на сумму почти 5 млрд рублей, в том числе более 1,6 тыс. автобусов, около 0,4 тыс. легковых автомобилей и 1,4 тыс. техники для ЖКХ.

По имеющейся в Минэнерго РФ информации, программы (подпрограммы) по развитию рынка газомоторного топлива утверждены в 50 субъектах РФ, в шести субъектах РФ разработаны соответствующие проекты программ, в стольких же действуют другие стратегические документы в сфере развития рынка газомоторного топлива (планы-графики, дорожные карты и т.д.).

Участники заседания признали актуальность развития инфраструктуры по переосвидетельствованию баллонов для хранения газа. Так, по данным Ростехнадзора, общее количество центров, аккредитованных на переосвидетельствование баллонов, составляет около 70, и расположены они в 31 субъекте РФ. Потребность в таких центрах составляет не менее 100 ед. в 69 субъектах РФ.

С учетом изложенного органам исполнительной власти субъектов РФ рекомендовано при разработке и актуализации региональных программ по развитию рынка газомоторного топлива уделять внимание обеспеченности субъекта центрами по переосвидетельствованию баллонов для хранения газа.

По материалам

<https://neftegaz.ru/news/view/167963>

Движение газомоторного топлива по Сахалину

За относительно небольшое время газомоторное топливо получило значительное развитие на острове Сахалин. В области развивают сеть газовых заправок. Правительство региона реализует программу развития рынка этого экологически чистого топлива совместно с компанией «Газпром газомоторное топливо». Строятся АГНКС, внедряется газомоторная автотехника, специалисты проходят обучение эксплуатации этой техники.

Как только в октябре 2016 года в Южно-Сахалинске была введена в эксплуатацию первая газовая заправка, предприятия острова начали внедрять газомоторную автотехнику. Уже к концу 2017 года пятая часть общественного транспорта Южно-Сахалинска была переведена на газ. И автотехника, работающая на голубом топливе, продолжает поступать в транспортные предприятия. В пользу метана делают выбор и многие сельхозпредприятия.

Основными потребителями природного газа в Южно-Сахалинске являются городской пассажирский, коммерческий и легковой автотранспорт. В городе эксплуатируются 39 газовых автобусов и несколько десятков автомобилей коммерческих компаний. Свои автопарки на природный газ перевели МУП «Транспортная компания», такси «Лайнер» и автошкола.

Компания РариТЭК, на счету которой более 3000 обученных водителей и специалистов во многих регионах России, провела в областном центре на базе МУП «Транспортная компания» выездной семинар по основам эксплуатации и обслуживания газомоторной автотехники, работающей на метане. Пройдя обучение, многие перестали относиться скептически к газомоторному топливу. Удостоверения о повышении квалификации уже получили 60 специалистов.

В последнее время такие программы обучения очень востребованы, ведь все больше автотранспортных предприятий внедряют газомоторную технику. Экономическая выгода очевидна, метан стоит втрое дешевле бензина и дизеля.

По материалам
пресс-службы компании РариТЭК



ТЕХНОЛОГИИ ПОБЕДИТЕЛЕЙ

- Экологичный двигатель на метане 300 л.с.
- Снижение затрат на топливо в 2.5 раза
- Круглогодичное использование



ЭД-300К

«БОЛЬШОЙ ЛИЗИНГ»
ПРОГРАММА ДЛЯ КРУПНОГО БИЗНЕСА

БОЛЬШОЙ ЛИЗИНГ ДЛЯ БОЛЬШИХ КЛИЕНТОВ

Подробную информацию о программах приобретения автотехники КАМАЗ в лизинг читайте на сайте www.kamazleasing.ru.
Лизинг автотехники осуществляет АО «Лизинговая компания «КАМАЗ».

KAMAZ

8-800-555-00-99
callcentre@kamaz.org
www.kamaz.ru

Международный опыт служит российскому рынку

С 2013 года в России активно развивается газомоторный рынок. Правительство страны установило амбициозные цели по увеличению потребления голубого топлива и инициировало эффективные меры поддержки отрасли. Локомотивом прогресса является автомобильная промышленность, задача которой наращивать объемы выпуска современных транспортных средств, работающих на газомоторном топливе.

Задумайтесь, что стоит за сверхающими на выставках газовыми грузовиками и автобусами – месяцы работы десятков специалистов, подрядчиков и поставщиков, годы исследований и обкатки технологий, энтузиазм и энергия первопроходцев! Но хорошему костюму нужны крепкие нитки. Компанию Италгаз Инжиниринг, о которой идет речь в этой статье, как раз можно сравнить с надежной нитью, связывающей воедино международный опыт производства газомоторной техники с реалиями российского рынка.

В 2009-2010 гг. Группа компаний Италгаз стала сотрудничать с известными газомоторными энтузиастами и первопроходцами. Это – Николай Анатольевич Халабуда (ООО «Арго»), Владимир Иванович Харьков (ООО «ДВС-эко»), Рафаэль Римович Батыршин (ООО «РариТЭК»). В результате постоянного обмена опытом и изучения зарубежных технологий основатели Италгаза пришли к необходимости создания отдельного подразделения, сконцентрированного на сотрудничестве с автопроизводителями в части разработки газовых прототипов, сопровождении и технической поддержке проектов. Организационную единицу, названную Италгаз Инжиниринг (ИИ), возглавил Алексей Юрьевич Банковский – харизматичный профессионал своего дела, труды которого неоднократно публиковались в нашем журнале.

На счету специалистов подразделения – участие в разработке газовой версии автомобиля ГАЗель Бизнес с ГБО (рис. 1). Проект оказался очень успешным. Ежегодно ГАЗ выпускает более 10 тыс. газобаллонных автомобилей Газель и Газель NEXT.

В 2012 году Италгаз Инжиниринг принял участие в сборке первой серийной партии автобусов ПАЗ, работающих на природном газе. Автобус имеет низкий расход топлива – 22 м³/100 км и заводскую гарантию на два года или 100 тыс. км пробега.

В 2013 году Группа компаний Volgabuss пригласила инженеров ИИ для совместной разработки газомоторных серийных автобусов Volgabuss CNG.

В том же году по заказу ОАО «АЗ «УРАЛ» специалисты Италгаз Инжиниринг разработали уникальный комплект газодизельного питания для автомобиля УРАЛ 4320-4151 6×6 и двигателем ЯМЗ-536. В дальнейшем это решение легло в основу разработки первого в мире серийного грузового полноприводного автомобиля с колесной формулой 6×6 в газодизельном исполнении.

В начале 2014 года по заказу ЗАО «Соллерс-Исузу» подразделением был разработан и успешно прошел потребительские испытания прототип автомобиля ISUZU NPR75L-K в газодизельном исполнении. Это первый в России малотоннажный газодизельный грузовик, на который распространяются привычные условия приобретения и владения: гарантия и лизинг.

Осенью 2014 г. модель была представлена на международной выставке AUTOTRANS-2014, где вызвала немалый ажиотаж благодаря, в первую очередь, способности снизить расходы на топливо на 25 %.

Параллельно с этим по заказу представителя Минского тракторного завода (МТЗ) и московской компании ООО «Доминант» инженерами ИИ проводились работы на моторных стендах МТЗ с целью разработки газодизельной версии двигателей Д-243, Д-245 и Д-260. А в октябре 2014 года на крупнейшей сельскохозяйственной выставке AGROSALON-2014 был представлен первый трактор МТЗ 92П в газодизельном исполнении, помогающий экономить своему владельцу до 150 тыс. рублей в год.



Рис. 1. Серийная ГАЗель с ГБО OMVL



Рис. 2. IVECO TRAKKER 6×6

В 2015 году совместно с миасским заводом-производителем тяжелой техники IVECO-AMT и при поддержке Екатеринбургского филиала ООО «Газпром газомоторное топливо» Италгаз Инжиниринг создал газодизельные версии полноприводных грузовых автомобилей IVECO-AMT TRAKKER 6×6 (рис. 2) и IVECO-AMT EURO CARGO 4×4. Достигнута существенная экономия на топливе и расходах на ГСМ. Например, при годовом пробеге 100 тыс. км экономия составляет около 400 тыс. руб.

Тогда же, по заказу ЗАО «Вольво Восток» инженеры ИИ разработали решение по локализации производства системы хранения газа (кассета баллонов КПП) для седельного тягача VOLVO FH, оснащенного системой газодизельного питания Clean Air Power. Позже аналогичное решение было выполнено по заказу ООО «Ивеко Русия» для седельного тягача IVECO STRALIS.

В период 2015-2016 гг. подразделение принимало активное участие в разработке и организации серийного производства автомобилей УРАЛ и УРАЛ NEXT CNG (рис. 3).

Успешные ресурсные испытания газодизельной версии двигателя ЯМЗ-536 позволили начать совместную разработку двух моделей семейства УРАЛ М. В феврале 2017 г. по заказу ПАО «Газпром» специалисты Группы компаний Италгаз оснастили два грузовика криогенными баками для СПГ производства CIMC Sanctum вместимостью 450 л (250 кг), что позволило заправлять в 2 раза больше полезного объема газа и существенно увеличить пробег автомобиля на одной заправке. 8 октября 2017 года газовой УРАЛ успешно финишировал в международном пробеге «Голубой коридор», преодолев 6,5 тыс. км на природном газе и объединив Западную Европу с Азией.

В 2017 году технологи ИИ разработали фильтр среднего давления MPF-10-01 (рис. 4) для автомобилей. Собственная разработка ООО «Италгаз Инжиниринг» предназначена для автомобилей и автобусов с двигателями семейства ЯМЗ-530, работающими на КПП. Корпус фильтра спроектирован как замена импортного аналога – PARKER FFC-110L-6 – и при этом обладает доступностью и рядом технических преимуществ: сменный картридж, удобство и легкость разборки корпуса (специальные выемки под ключ), возможность слива конденсата, места крепления и штуцеры входа/выхода газа соответствуют оригинальным.

Результатом долгосрочного сотрудничества ИИ и АО «Автодом» (г. Ульяновск), крупнейшего дилера и изготовителя спецтехники УАЗ, являются сотни переоборудованных автомобилей УАЗ («Патриот», 3909, «Фермер»), поставляемых по заказу различных структур ПАО «Газпром» и в свободную продажу.

Одним из главных успехов ООО «Италгаз Инжиниринг» на сегодняшний день считается разработка газодизельного питания для автомобиля КАМАЗ 5490 NEO (рис. 5), выполненная по заказу ООО «ТЦ «ВОСТОК», официального дилера КАМАЗ в Санкт-Петербурге. По левому борту тягача установлен стандартный топливный бак объемом 400 л, справа – четыре газовых баллона по 80 л. Автомобиль был продемонстрирован на международной выставке COMTRANS-2017. В 2017 году с конвейера сошло более 270 газодизельных грузовиков КАМАЗ.

Вне зависимости от того, по какому пути будет развиваться в нашей стране газомоторная отрасль, команда профессионалов Италгаз Инжиниринг, ставшая неотъемлемой частью этого процесса, продолжит активно участвовать в создании парка газотопливной техники России.

Если перед вами стоит задача по переводу парка существующей техники или адаптации технологии производства под газомоторное топливо, обращайтесь в Италгаз Инжиниринг. Вам будет предложен комплексный подход:

- производство газовых двигателей и OEM-интеграция;
- поставка и установка газобаллонного оборудования и его компонентов;
- переоборудование транспортных предприятий «под ключ»;
- настройка и обслуживание оборудования;
- обучение специалистов.

Тел.: +7 (495) 215-07-39, e-mail: office@italgasgroup.com

www.газодизель.рф

АОГМТ «Национальная газомоторная ассоциация» (НГА)



Рис. 3. УРАЛ NEXT CNG



Рис. 4. Фильтр среднего давления MPF-10-01



Рис. 5. КАМАЗ 5490 NEO (газодизель)

Математическая модель действительного и теоретического циклов дизеля с высоким наддувом

Окончание. Начало в № 6 (60) 2017 г.

С.И. Козлов, доктор технических наук,

С.В. Люгай, директор Центра использования газа ООО «Газпром ВНИИГАЗ», к.т.н.

В статье предлагается новый способ аналитического интегрирования дифференциального уравнения баланса теплоты в цилиндре дизеля при сгорании топлива. Получены уравнения, устанавливающие непосредственную связь давления и температуры газа с углом поворота коленчатого вала и характеристикой топливоподачи, в том числе уравнения для расчета максимальных давления и температуры сгорания и индикаторных параметров дизеля – индикаторного КПД и среднего индикаторного давления. Показана определяющая роль характеристики топливоподачи в развитии процесса тепловыделения. Получены обобщенные эмпирические зависимости, устанавливающие связь относительного количества теплоты, выделившейся за основной период сгорания, и продолжительности всего процесса сгорания с фактором динамичности цикла.

Ключевые слова:

баланс теплоты, давление и температура в цилиндре дизеля, фактор динамичности цикла, количество теплоты, индикаторные показатели дизеля.

Основные факторы, влияющие на индикаторные параметры дизеля при высоком наддуве

В первой части статьи было показано, что на индикаторный КПД двигателя должны влиять при заданных значениях параметров p_a , T_a , α , ε и g_c определенные факторы:

- начало и продолжительность сгорания топлива на каждом участке, характеризующиеся углами φ_s , φ_h и φ_f ;
- относительное количество топлива, сгоревшего к концу каждого периода сгорания (параметры x_d , x_h и x_f);
- характер протекания кривой тепловыделения $x(\varepsilon_x)$ на каждом участке, описываемый показателями m_1 , m_2 и m_3 ;
- относительное количество теплоты, теряемое вследствие диссоциации продуктов сгорания, теплопередачи в стенки и неполноты сгорания топлива, учитываемое коэффициентом Ψ .

Поправка

В первой части статьи «Математическая модель действительного и теоретического циклов дизеля с высоким наддувом», опубликованной в № 6 (60) 2017 г., по техническим причинам допущены опечатки.

На стр. 32. во втором абзаце вместо уравнения $\frac{dx}{d\varphi} \frac{dx}{d\varphi} = ff(\varphi\varphi)$ должно быть $\frac{dx}{d\varphi} = f(\varphi)$.

На стр. 36 в предпоследней строке вместо $\gamma_r \gamma_r$ должно быть γ_r .

Приносим свои извинения авторам и читателям.

Проследим за влиянием каждого из перечисленных факторов на индикаторные параметры дизеля, работавшего с высокими давлениями наддува ($p_k = 0,4 \dots 0,7$ МПа). Изменение совершенства индикаторного процесса при отклонении от исходного уровня параметров кривой тепловыделения $x(\varepsilon_x)$ будем характеризовать относительными приращениями индикаторного КПД двигателя ($\Delta\eta_i$), относительными потерей теплоты в индикаторном процессе ($\Delta\Psi_i$) и степенью повышения давления при сгорании ($\Delta\lambda$), которое при $p_a = \text{const}$ и $\varepsilon = \text{const}$ равно относительному приращению максимального давления сгорания (Δp_z). Величина Ψ_i является фактором качества индикаторного процесса в реальном цикле двигателя. Величина $\Delta\Psi = \frac{\Psi_i - \Psi_{i0}}{\Psi_{i0}}$ характеризует относительное приращение фактора при

изменении рассматриваемых ниже параметров процесса сгорания.

На рис. 3 показано влияние изменения углов φ_s , φ_h и φ_f (при неизменных остальных параметрах кривой тепловыделения) на индикаторные параметры дизеля.

Изменение углов, соответствующих началу (φ_s) и концу (φ_f) сгорания при сохранении неизменными прочих параметров кривой тепловыделения, слабо сказывается на параметрах η_i , λ и Ψ_i . Однако изменение угла φ_h , характеризующего продолжительность периода быстрого сгорания, существенно влияет на индикаторный процесс, приводя к уменьшению η_i и λ , а также к возрастанию потерь Ψ_i при увеличении φ_h .

Влияние количества теплоты, выделившейся на каждом участке сгорания топлива, на параметры η_i , λ и Ψ_i показано на рис. 4. Изменение количества теплоты, выделившейся к концу первого участка сгорания, когда поршень находится в ВМТ, слабо отражается на качестве индикаторного процесса (рис. 4а). Между тем, изменение количества теплоты, выделившейся на втором участке сгорания, оказывает решающее влияние на достижимые значения параметров η_i , λ и Ψ_i . В частности, повышение x_h с 50 до 65 % при сохранении прочих параметров кривой тепловыделения увеличивает λ и η_i на 7...10 % и уменьшает относительные потери индикаторной работы более чем в два раза (рис. 4б).

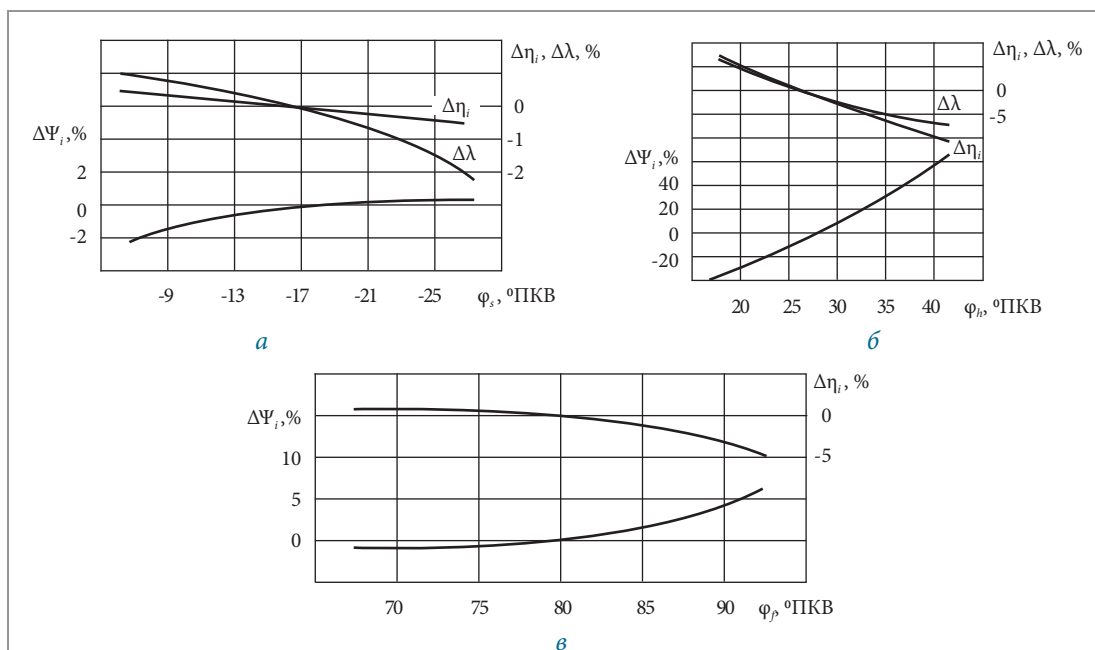


Рис. 3. Влияние углов φ_s (а), φ_h (б) и φ_f (в) на индикаторные показатели дизеля

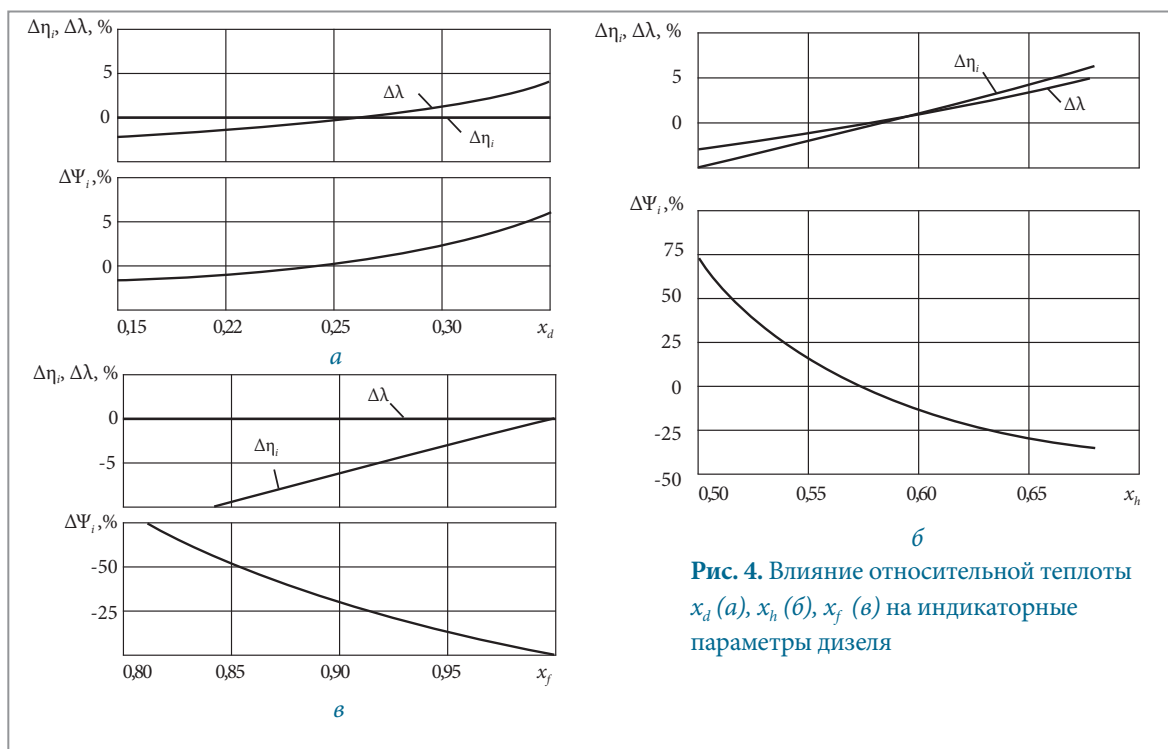


Рис. 4. Влияние относительной теплоты x_d (а), x_i (б), x_f (в) на индикаторные параметры дизеля

Изменение относительного количества теплоты, выделившейся к концу третьего периода сгорания (x_f), не сказываясь на значении λ , заметно влияет на параметры η_i и Ψ_i (рис. 4в). Таким образом, точность расчета индикаторной диаграммы действительного цикла двигателя с высоким наддувом во многом будет зависеть от правильного выбора параметров x_i и x_f . В отношении последнего параметра следует заметить, что в данном методе расчета его значение можно принимать равным единице, поскольку потери теплоты в цилиндре дизеля вследствие диссоциации продуктов сгорания, теплоотдачи в стенки камеры и неполноты сгорания топлива учитываются введением коэффициента Ψ и, следовательно, на параметре x_f не отражаются.

На рис. 5 видно, что изменение показателя m_1 слабо влияет на η_i , λ и Ψ_i , поэтому в практических расчетах величину m_1 можно принять постоянной и равной среднестатистическому значению. Более сильное влияние на η_i , λ , Ψ_i и p_z оказывают показатели m_2 и m_3 , причем m_2 наиболее сильно влияет на λ и p_z , а m_3 , не отражаясь на λ и p_z , существенно изменяет η_i и Ψ_i .

Из выделяющегося количества теплоты в цилиндре часть $(1-\psi_i)x$ теряется, и в индикаторной работе участвует лишь относительное количество теплоты $x_i = \psi x(\varphi)$. Из всех потерь теплоты при сгорании наибольшую долю составляют потери от теплоотдачи в стенки цилиндра. Потери от неполноты сгорания топлива в дизелях со струйным смесеобразованием не превышают 2 %. Потери от диссоциации продуктов сгорания также незначительны и при $\alpha \geq 1,5$ их влияние на давление и температуру столь мало, что в практических расчетах эти потери можно не учитывать. Анализ внутреннего теплового баланса для случая работы двигателя с $p_k = 0,6$ МПа, $T_k = 433$ К, $\alpha = 1,9$ ($g_{\text{цл}} = 167 \frac{\text{МЛ}}{\text{Ц} \cdot \text{Л}}$), $\varphi_{\text{впр}} = 30^\circ$ до ВМТ показал, что при отсутствии потерь теплоты на теплообмен (у полностью «адиабатного» двигателя $\psi = 1, \xi_a = \xi_b = 0$) η_i увеличился бы на 8 %, при этом λ и p_z повысились бы на 5,5 %, а относительные потери индикаторной работы уменьшились бы на 50 %.

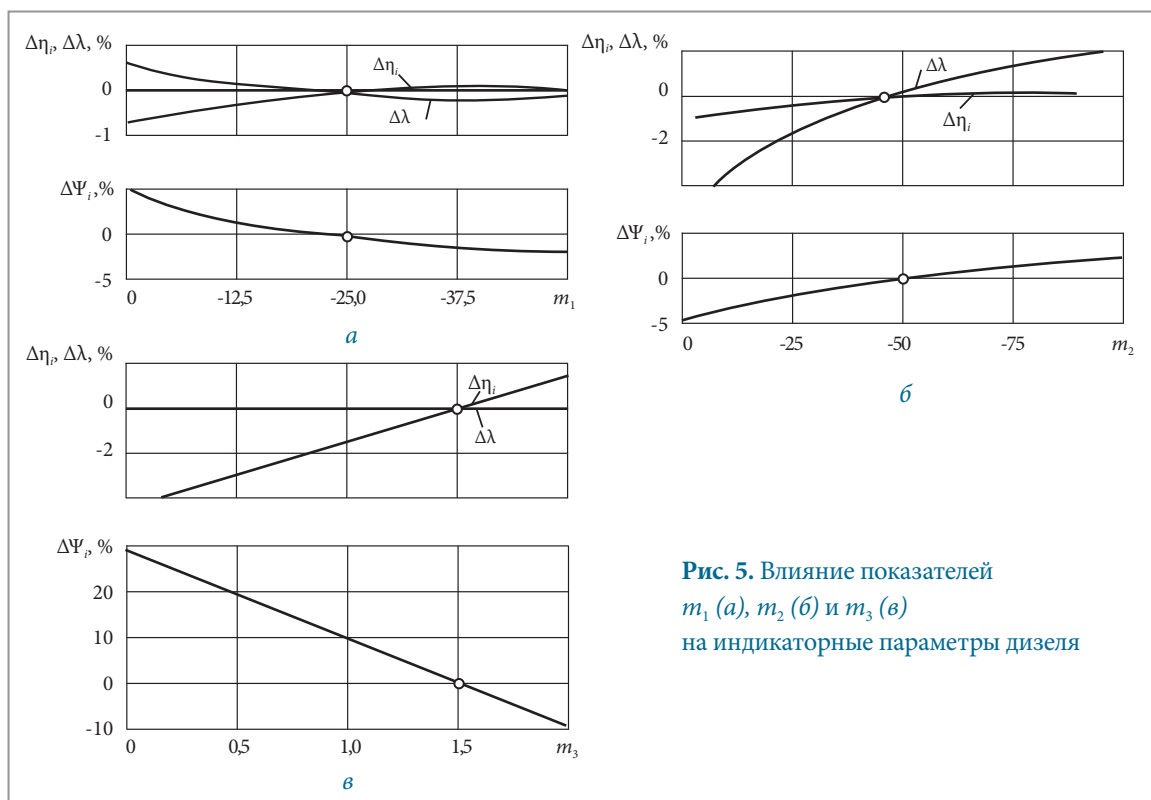


Рис. 5. Влияние показателей m_1 (а), m_2 (б) и m_3 (в) на индикаторные параметры дизеля

Если же сохранить λ , а, следовательно, и p_z постоянными (путем изменения $\varphi_{впр}$), то прирост η_i в «адиабатном» двигателе был бы меньше и составил бы примерно 6,5 %.

При условии совпадения кривых тепловыделения и топливоподачи индикаторный КПД увеличился бы (по сравнению с исходным вариантом) на 23 %, при этом λ и p_z увеличились бы на 28 %. При неизменных λ и p_z приближение действительной кривой тепловыделения $x(\varphi)$ к кривой подачи топлива $\sigma(\varphi)$ дало бы приращение примерно 15 %. Следовательно, потери в индикаторном КПД вследствие несовершенства смесеобразования и сгорания топлива составят $15 - 6,5 = 8,5$ %. Иначе говоря, в двигателе с высоким наддувом примерно 40 % всех потерь в η_i составляют потери от теплоотдачи в стенки цилиндра, а остальные 60 % – потери от несовершенства смесеобразования и сгорания топлива. Таким образом, ликвидация первых потерь повысила бы η_i на 6,5 %, а ликвидация вторых – на 8,5 % (при $p_z = \text{const}$). Очевидно, что полностью устранить потери теплоты в действительном цикле двигателя невозможно, но уменьшение их на 50...60 %, по-видимому, вполне достижимо. При этом располагаемые резервы дальнейшего повышения индикаторной экономичности дизелей с высоким наддувом можно оценить в 3,5...4 % вследствие уменьшения потерь от теплоотдачи и еще 4...5 % – вследствие совершенствования процессов смесеобразования и сгорания.

Проведенный анализ показал, что основными факторами, влияющими на индикаторные параметры дизеля при заданных ε и α , являются: общая продолжительность сгорания топлива и особенно на втором участке ($d - h$), характеризуемая углом φ_{ii} ; относительное количество топлива x_{ii} , сгоревшего к концу второго периода; характер протекания кривой $x=f(\varphi)$, главным образом, на втором и третьем участках сгорания, определяемый показателями m_2 и m_3 ; потери теплоты вследствие теплоотдачи в стенки цилиндра.

Для количественной оценки величин перечисленных параметров кривой тепло-выделения, предопределяющих развитие процесса сгорания топлива, были проведены специальные экспериментальные исследования на опытном одноцилиндровом двигателе. Индикаторные диаграммы снимались при различных давлениях наддува, температурах наддувочного воздуха, цикловых подачах топлива и углах опережения подачи топлива (таблица). Исследования показали, что для этого двигателя продолжительность подачи топлива линейно зависит от цикловой подачи топлива и описывается следующим эмпирическим уравнением

$$\theta = (22,51 + 53,3g_{ц}) \frac{n}{n_0}. \quad (25)$$

Изменение во времени относительного количества топлива, подаваемого в цилиндр дизеля, не зависит от $g_{ц}$, а является функцией только отношения текущего угла поворота коленчатого вала к продолжительности подачи топлива:

$$\sigma_{\tau}(\varphi) = \left(\frac{\varphi}{\theta}\right)^{1,341-0,103\frac{\varphi}{\theta}-0,807\left(\frac{\varphi}{\theta}\right)^2}. \quad (26)$$

Относительное изменение периода задержки воспламенения топлива хорошо аппроксимируется эмпирической формулой

$$\frac{\tau_i}{\tau_{i0}} = \sqrt{\frac{p_{к0}}{p_k}} \cdot \left(\frac{T_{к0}}{T_k}\right)^3 \cdot \left(\frac{\varphi_{впр}}{\varphi_{впр0}}\right)^{0,87} \cdot \frac{1 - 1,6 \cdot 10^{-4}n}{1 - 1,6 \cdot 10^{-4}n_0} \cdot \frac{n}{n_0}. \quad (27)$$

Исходная величина τ_{i0} определяется на основании экспериментальных данных (например, на опытном двигателе $\tau_{i0}=13^\circ$ при $p_{к0}=0,59$ МПа, $T_{к0}=433$ К, $\varphi_{впр0}=30^\circ$ до ВМТ и $n_0=2200$ мин⁻¹), либо вычисляется по известным формулам (3, 6).

При номинальной частоте вращения вала двигателя n_0 за абсциссу точки h можно принять угол φ_h , равный продолжительности подачи топлива (за вычетом угла φ_s , если $\varphi_s < 0$), то есть $\varphi_h = \theta - |\varphi_s|$. При $\varphi_s > 0$ угол φ_h принимаем равным продолжительности подачи топлива.

При частотах вращения вала меньше n_0 продолжительность второго участка сгорания следует брать больше, чем продолжительность подачи топлива:

$$\varphi_h = \frac{\theta}{n} - |\varphi_s|. \quad (28)$$

Как было показано выше, параметр x_h при данной продолжительности подачи топлива характеризует степень совершенства процессов смесеобразования и сгорания в смысле неадекватности протекания зависимости $x(\varphi)$ и кривой $\sigma(\varphi)$. Но если сравнивать циклы с разной продолжительностью подачи топлива, то за фактор совершенства процессов горения правильнее принять не параметр x_h , а величину отношения $\chi = \frac{x_h - x_d}{\varepsilon_h}$, где ε_h – степень расширения при повороте коленчатого вала на угол φ_h .

Расчеты по данным таблицы показывают, что с повышением p_k величина χ уменьшается (с 0,299 при $p_k=0,4$ МПа до 0,233 при $p_k=0,7$ МПа). Это связано с ростом продолжительности подачи топлива и с ухудшением смесеобразования и горения больших количеств топлива в ограниченном объеме цилиндра. В этом состоит одна из главных особенностей протекания индикаторного процесса дизеля с высоким наддувом, так как изменения T_k , α и $\varphi_{впр}$ в меньшей степени влияют на фактор совершенства χ .

Параметры индикаторных диаграмм, полученных в опытах на двигателе с высоким наддувом ($D/S=14/17$, $n=2000$ мин⁻¹)

| Параметры | Характеристика опыта | | | | | | | | | | |
|------------------------|----------------------|-------|-------|-----------|-------|--------------|-------|---------------------|-------|------------------|--|
| | $p_k=var$ | | | $T_k=var$ | | $g_{шт}=var$ | | $\varphi_{впр}=var$ | | Умеренный наддув | |
| ϵ | 10 | | | 10 | | 10 | | 10 | | 12 | |
| p_k , МПа | 0,392 | 0,589 | 0,706 | 0,589 | | 0,706 | | 0,589 | | 0,236 | |
| T_k , К | 433 | | | 413 | 463 | 433 | | 433 | | 383 | |
| $\varphi_{впр}$, °ПКВ | 30 | | | 30 | | 30 | | 19 | 37 | 21 | |
| $g_{шт}$, мг/л-ц | 119 | 167 | 213 | 186 | 176 | 164 | 139 | 161 | 175 | 77 | |
| α | 1,774 | 1,915 | 1,805 | 1,8 | 1,72 | 3,31 | 2,79 | 1,982 | 1,823 | 1,77 | |
| p_p , МПа | 14,5 | 20,6 | 21 | 20,6 | 20,3 | 23,8 | 23 | 17,3 | 22,6 | 11,2 | |
| λ | 1,55 | 1,49 | 1,36 | 1,49 | 1,47 | 1,37 | 1,32 | 1,25 | 1,63 | 1,51 | |
| p_p , МПа | 2,15 | 2,91 | 3,48 | 3,13 | 2,92 | 3,01 | 2,69 | 2,7 | 3,09 | 1,46 | |
| η_i | 0,419 | 0,407 | 0,38 | 0,395 | 0,39 | 0,425 | 0,45 | 0,387 | 0,41 | 0,443 | |
| ψ_i | 0,046 | 0,059 | 0,077 | 0,067 | 0,065 | 0,055 | 0,041 | 0,075 | 0,055 | 0,052 | |
| θ , °ПКВ | 39 | 46 | 52 | 48,5 | 47 | 47 | 45 | 45 | 47 | 33 | |
| τ_p , °ПКВ | 16,5 | 13 | 12 | 14,5 | 11 | 11,5 | 11,5 | 8,5 | 17 | 18 | |
| σ_τ | 0,355 | 0,21 | 0,155 | 0,225 | 0,16 | 0,17 | 0,195 | 0,115 | 0,295 | 0,55 | |
| φ_p , °ПКВ | -13,5 | -17 | -18 | -15,5 | -19 | -18,5 | -18,5 | -10,5 | -20 | -3 | |
| φ_h , °ПКВ | 25,5 | 29 | 34 | 33 | 28 | 28,5 | 23,5 | 35 | 27 | 28 | |
| φ_p , °ПКВ | 65 | 80 | 100 | 85 | 80,5 | 85 | 73 | 96 | 71 | 60 | |
| x_d | 0,245 | 0,22 | 0,185 | 0,195 | 0,215 | 0,215 | 0,255 | 0,115 | 0,285 | 0,03 | |
| x_h | 0,7 | 0,65 | 0,635 | 0,68 | 0,63 | 0,63 | 0,645 | 0,61 | 0,705 | 0,73 | |
| m_1 | 10 | | | | | | | | | | |
| m_2 | -103 | -92 | -76 | -94 | -78 | -82 | -89 | -51 | -101 | -104 | |
| m_3 | 1,1 | | | | | | | | | | |
| n_1 | 1,393 | 1,382 | 1,377 | 1,388 | 1,385 | 1,368 | 1,364 | 1,38 | 1,394 | 1,375 | |
| n_2 | 1,334 | 1,338 | 1,335 | 1,327 | 1,361 | 1,319 | 1,319 | 1,374 | 1,297 | 1,325 | |
| ψ | 0,89...0,91 | | | | | | | | | | |

Необходимо отметить, что хотя фактор χ в двигателе с высоким наддувом заметно меньше, чем при умеренном наддуве, индикаторный КПД в дизеле с высоким наддувом почти такой же, как в дизеле с умеренным наддувом. Например, при $p_k=0,4$ МПа; $\alpha=1,774$; $\lambda=1,55$ и $\epsilon=10$ величина $\eta_i=0,412$ (см. таблицу). А при $p_k=0,24$ МПа и примерно тех же α и λ индикаторный КПД составлял $\eta_i=0,443$ при $\epsilon=12$. Пересчетом η_i на степень сжатия $\epsilon=10$ получим в последнем случае $\eta_i=0,42$, то есть примерно ту же величину, как и при $p_k=0,4$ МПа. Это можно объяснить тем, что при высоких p_k и низкой ϵ относительные потери теплоты в индикаторном процессе вследствие теплообмена со стенками меньше, чем при умеренных p_k . Это и компенсирует потерю в η_i при высоких p_k вследствие худшего качества смесеобразования и сгорания. Лишь при очень больших давлениях наддува $p_k = 0,6...0,7$ МПа η_i при прочих равных условиях заметно ниже, чем при умеренном наддуве.

Анализ экспериментальных кривых тепловыделения показал, что относительное количество теплоты x_h , выделившиеся за время, эквивалентное продолжительности

подачи топлива, а, следовательно, и параметр χ (независимо от того, с какими p_k, T_k и $\varphi_{впр}$ работает двигатель) являются, главным образом, функцией фактора динамичности цикла. Зависимость $x_h = f(\sigma_\tau)$ показана на рис. 6.

16

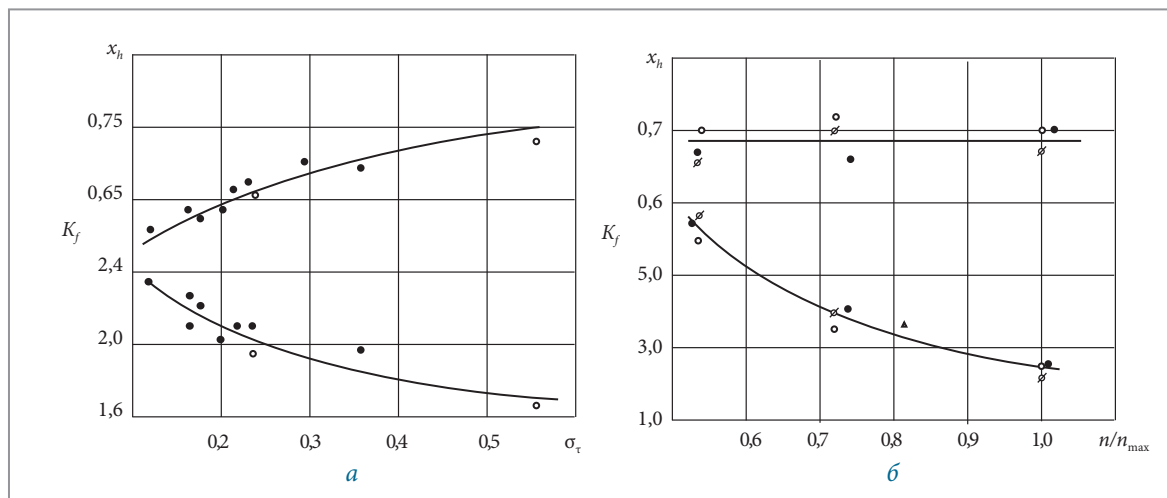


Рис. 6. Параметры, определяющие кривые тепловыделения в дизелях с наддувом: *a* – опыты на одноцилиндровом дизеле с $D/S=14/17$; *б* – определено по материалам профессора Разлейцева Н.Ф. [5]

Эта зависимость справедлива не только для исследованных транспортных двигателей (в том числе и опытных ТПД с высоким наддувом), но и для других типов дизелей, близких по быстроходности и размерам цилиндра к исследованным машинам с умеренным наддувом (светлые точки на рис. 6). Зависимость $x_h = f(\sigma_\tau)$ может быть описана с помощью эмпирического уравнения

$$x_h = B \sigma_\tau^{0,15}. \quad (29)$$

Постоянный коэффициент B в уравнении (29) для высокофорсированных транспортных двигателей лежит в пределах $B=0,82...0,85$. Для среднеоборотных дизелей типа Д-70, ЧН26/34 и т.п. коэффициент B несколько больше – порядка $B = 0,9$, а для дизелей с небольшими размерами цилиндра (типа ЧН13/11,5) – существенно меньше, и, как показала обработка материала профессора Разлейцева Н.Ф. [5], величина коэффициента B в среднем равна 0,75.

Зависимость χ от σ_τ подчиняется уравнению (рис. 7)

$$\chi = 0,2614 - 0,2647\sigma_\tau + 1,0056\sigma_\tau^2. \quad (30)$$

Количество теплоты, выделившееся в ВМТ, может быть определено по формуле

$$\left. \begin{aligned} x_d &= 1,25\sigma_\tau^{0,2} x_h \frac{|\varphi_s|}{\theta} \left(\frac{\varphi_{впр}}{30} \right)^{0,7} \text{ при } \varphi_s < 0; \\ x_d &= 0 \text{ при } \varphi_s \geq 0. \end{aligned} \right\} (31)$$

Общая продолжительность сгорания, характеризуемая углом φ_f , равна

$$\varphi_f = K_f \theta - |\varphi_s|, \quad (31)$$

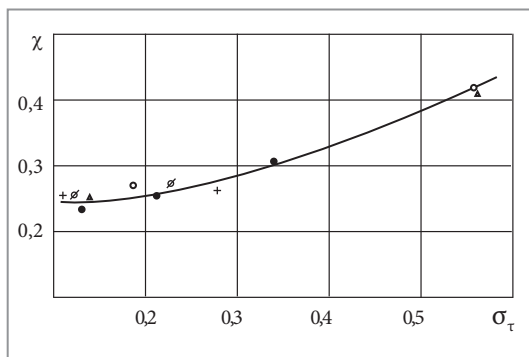


Рис. 7. Зависимость фактора совершенства процесса сгорания топлива в дизеле с высоким наддувом от фактора динамичности цикла:

• – $p_k = \text{var}$; ○ – $\alpha = \text{var}$; ◐ – $T_k = \text{var}$;
+ – $\varphi_{\text{впр}} = \text{var}$; ▲ – $p_k = 0,24 \text{ МПа}$; $\epsilon = 12$

где $K_f = A_f \sigma_\tau^{-0,23} \left(\frac{n}{n_{\text{НОМ}}} \right)^{-164}$ – поправочный коэффициент (см. рис. 6); для быстроходных транспортных двигателей $A_f = 1,46$; для среднеоборотных дизелей $A_f = 1,6 \dots 1,8$.

Данные обработки экспериментальных индикаторных диаграмм позволяют сделать вывод о том, что показатели m_1 и m_3 можно принимать равными их средним значениям ($m_1 = -10$, $m_3 = 1,1$) независимо от величин p_k , T_k , α , $g_{\text{ц}}$ и $\varphi_{\text{впр}}$, с которыми работает двигатель. Величина показателя m_2 колеблется в пределах $(-50) \dots (-100)$ и определяется фактором динамичности цикла:

$$m_2 = 322 \cdot \exp(-15,7 \cdot \sigma_\tau) - 104. \quad (33)$$

Предложенная математическая модель рабочего процесса в дизеле позволяет решать ряд важных задач в процессе проектирования и доводки двигателя.

Приведенная математическая модель позволяет рассчитать предполагаемую кривую тепловыделения $x(\varphi)$, построить индикаторные диаграммы $p(\varphi)$, $T(\varphi)$ и вычислить индикаторные параметры двигателя p_i и η_i при самых разнообразных условиях ведения рабочего процесса, различающихся значениями p_k , T_k , $g_{\text{ц}}$ (или α), $\varphi_{\text{впр}}$, ϵ и характеристиками топливоподачи. Для этого достаточно задать значения следующих параметров:

- давление и температура воздуха в начале сжатия (p_a , T_a);
- удельная цикловая подача топлива ($g_{\text{ц}}$) и угол опережения впрыска топлива $\varphi_{\text{впр}}$;
- частота вращения коленчатого вала;
- степень сжатия и отношение радиуса кривошипа к длине шатуна;
- продолжительность подачи топлива – для топливных систем типа примененной

в описанных выше опытах продолжительность подачи топлива может быть определена по формуле (25).

В отличие от известных методов расчета кривых тепловыделения и индикаторной диаграммы дизеля предложенный метод расчета требует задания меньшего количества исходных данных, а главное – правильно учитывает основные факторы, влияющие на индикаторные параметры двигателя. Предложенный метод дает также достаточно хорошее совпадение результатов расчета с экспериментом. Среднее квадратичное значение погрешности в определении параметров p_2 , η_i и p_i по предложенной методике не превышает 3,5 %. Последнее свидетельствует о правильности принятой в данном методе исследования гипотезы об определяющем влиянии на процесс сгорания топлива в дизеле с высоким наддувом продолжительности подачи топлива и фактора динамичности цикла – относительного количества топлива, поступившего в цилиндр за период τ_i . В существующих методах расчета только метод Н.Ф. Разлейцева [5] учитывает

влияние продолжительности топливоподачи на протекание процесса сгорания в дизеле, однако он не отражает определяющей роли фактора динамичности цикла в развитии этого процесса.

С помощью системы уравнений (1)...(33), описывающих протекание рабочего процесса в дизеле на различных стадиях его осуществления, можно решать важные для практики доводки двигателя задачи. Покажем технологию использования полученных уравнений для определения, например, потребных угла опережения впрыска топлива (при заданной характеристике топливоподачи) или продолжительности впрыска топлива (при выбранном угле опережения подачи топлива), обеспечивающих получение в цилиндре двигателя заданного максимального давления сгорания p_z (последнее обычно назначается конструктором двигателя, исходя из условий достижения необходимой прочности деталей двигателя).

Выбор угла опережения впрыска топлива при заданных значениях p_k , T_k , $g_{ц}$, n и Θ

Задавая рядом значений $\varphi_{впр} < 0$, по формуле (27) рассчитывают период задержки воспламенения топлива, а по формуле (26) оценивают фактор динамичности цикла σ_τ . Затем вычисляют углы $\varphi_s = \varphi_{впр} + \tau_i$ и $\varphi_h = \theta - |\varphi_s|$. По формулам (29) и (31) находят значения x_h и x_d , после чего, используя полученные формулы, рассчитывают постоянные a и b для участка сгорания $d-h$. Предварительно по формуле (33) оценивается значение показателя m_2 на рассматриваемом участке. Вычислив постоянные A_p и B_p на участке $d-h$, оценив значение показателя k_2 (в первом приближении $k_2 = 1,29 \dots 1,30$) и уточнив по формуле (6), находят с помощью уравнения (8) степень расширения ε_z , соответствующую максимальному давлению сгорания, и значение давления при выбранных углах опережения впрыска топлива $\varphi_{впр}$. Из серии принятых значений $\varphi_{впр}$ выбирают такое, при котором располагаемое расчетное значение p_z наиболее близко к заданному.

Оценка потребной продолжительности топливоподачи при заданных значениях p_a , T_a , $g_{ц}$, n и угла $\varphi_{впр}$

Задавая рядом значений продолжительности топливоподачи Θ , в той же последовательности проводят расчет величин τ_i , σ_τ , x_h , x_d , a , b , ε_z и p_z , после чего выбирают такую продолжительность Θ , которая наиболее соответствует заданному значению максимального давления сгорания.

В описанных задачах предполагается, что процессы смесеобразования и сгорания подчиняются тем же закономерностям, что и в исследуемом опытном дизеле с высоким наддувом, то есть оказываются справедливыми эмпирические соотношения (25)...(33).

С помощью уравнений (2)...(5) могут решаться также задачи нахождения потребного закона тепловыделения, обеспечивающего заданное изменение давления газа в цилиндре при других способах смесеобразования.

Покажем это на следующем примере. Определим потребную кривую тепловыделения, при которой в цилиндре двигателя на протяжении всего периода сгорания обеспечивается сохранение постоянного давления $p = p_z = p_c$, то есть реализуется цикл с $p = \text{const}$ ($\lambda = 1$) на участке сгорания топлива. Для простоты расчетов будем считать, что воспламенение топлива происходит при положении поршня в ВМТ, то есть $p_d = p_c = p_a \varepsilon^{n_1}$. В этом случае весь процесс тепловыделения будет происходить

на участке $d-h$, то есть $\varphi_s = 0$, $x_d = 0$, а $x_h = 1$. Степень расширения ε_h , соответствующая концу тепловыделения с $p = \text{const}$, найдется из уравнения

$$\varepsilon_h = v_d \frac{T_z}{T_c},$$

$$\text{где } v_d T_z = \frac{H_u \Psi}{\alpha l_0 c_{p_r}} + \frac{c_{p_B}}{c_{p_r}} T_c.$$

Постоянные a и b в уравнении кривой тепловыделения в данном случае (при $x_h = 1$ и $x_d = 0$) будут $a = -b = \frac{1}{\varepsilon_h - \varepsilon_h^{m_2}}$.

Тогда уравнение (4), описывающее изменение давления газа в цилиндре двигателя при сгорании топлива с $p = \text{const}$, примет вид:

$$p = p_c \varepsilon_x^{-k_r} - \frac{c_{p_r}(\varepsilon - 1)(k_r - 1)}{(\varepsilon_h - \varepsilon_h^{m_2})k_r} (1 - \varepsilon_x^{-k_r}) + \frac{c_{p_r}(\varepsilon - 1)(k_r - 1)m_2}{(\varepsilon_h + \varepsilon_h^{m_2})(k_r + m_2 - 1)} (\varepsilon_x^{m_2} - \varepsilon_x^{-k_r}).$$

Показатель k_r в этом уравнении рассчитывается по формуле (6) при $x_{cp} = 0,5$ и $T_{cp} = 0,5 (T_z + T_c)$, а значение m_2 выбирается таким, чтобы давление p с изменением ε_x выдерживалось бы примерно постоянным. Расчеты показывают, что это условие соблюдается при показателе степени, лежащем в пределах $m_2 = -0,3 \dots -0,5$.

Для иллюстрации описанной методики построения кривой $x(\varepsilon_x)$, обеспечивающей сгорание с $p = \text{const}$ и $\lambda = 1$, было выполнено расчетное исследование цикла двигателя, работающего с $p_k = 0,4$ МПа, $T_k = 433$ К, $g_{цил} = 0,119$ г/(л·цикл) ($\alpha = 1,774$) и степенью сжатия $\varepsilon = 13,4$, при которой достигается максимальное давление сгорания $p_z = 15$ МПа (при $\lambda = 1$), как и в дизеле с теми же значениями p_k и T_k , но со степенью сжатия $\varepsilon = 10$ и $\lambda = 1,5$. В этом случае продолжительность тепловыделения должна составлять около 35 °ПКВ, причем характер тепловыделения описывается степенной зависимостью с показателем степени $m_2 = -0,5$ (рис. 8). Обращаясь к экспериментальным кривым $\sigma(\varphi)$ и $x(\varphi)$, видим, что при струйном смесеобразовании реализовать закон тепловыделения с продолжительностью 35 °ПКВ невозможно, так как продолжительность топливоподачи в этом двигателе в рассматриваемом случае составит порядка 39 °ПКВ. В двигателе с предкамерным смесеобразованием, снабженным устройством для изменения площади проходного сечения горловины, соединяющей предкамеру с внутрицилиндровым пространством, закон тепловыделения, близкий к установленному в данных расчетах, реализуется (см. на рис. 8 кривую, полученную С.В. Рыбинским в опытах на предкамерном одноцилиндровом дизеле).

Расчеты показывают, что в дизеле с предкамерным смесеобразованием и повышенной степенью сжатия ($\varepsilon = 13,4$; $\lambda = 1$) среднее индикаторное давление при $p_k = 0,4$ МПа и $p_z = 15$ МПа получается примерно таким же, как и в дизеле со струйным смесеобразованием, работавшем с теми же значениями p_k и p_z , но с пониженной степенью сжатия ($\varepsilon = 10$; $\lambda = 1,5$).

Однако это получается при условии, что потери вследствие теплообмена и недогорания топлива, характеризуемые коэффициентом Ψ , в двигателе с предкамерным смесеобразованием будут такими же, как в дизеле со струйным смесеобразованием. Между тем опыты показывают, что в двигателе со струйным смесеобразованием при $\varepsilon = 10$; $\lambda = 1,5$; $\alpha = 1,77$; $p_k = 0,4$ МПа и $p_z = 15$ МПа индикаторный КПД составляет 0,419 (см. таблицу), в то время как в двигателе с предкамерным смесеобразованием и изменяемым проходным сечением горловины был получен $\eta_i = 0,398$ (при $\varepsilon = 13$).

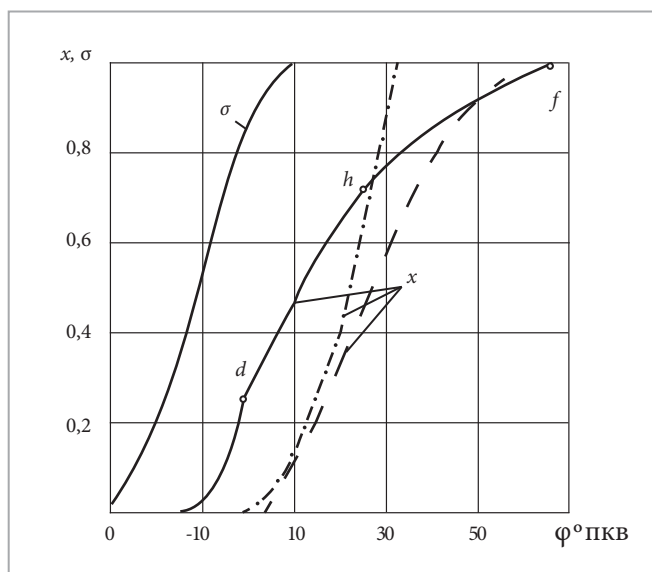


Рис. 8. Кривые тепловыделения в дизелях со струйным и предкамерным смесеобразованием ($p_k=0,4$ МПа, $\alpha=1,77$; $p_z=15$ МПа):

- — опытный дизель со струйным смесеобразованием ($\epsilon=10$; $\lambda=1,5$);
- — дизель с предкамерным смесеобразованием ($D/S=15/15$; $\epsilon=13$; $\lambda=1,1$);
- — расчетная кривая при предкамерном смесеобразовании ($\epsilon=13$; $\lambda=1,0$)

Пересчет η_i на степень сжатия $\epsilon=13,4$, обеспечивающую то же значение p_z , что и у двигателя со струйным смесеобразованием, дает для двигателя с предкамерой $\eta_i=0,403$, то есть на 3,8 % меньше, чем в двигателе с пониженной степенью сжатия и струйным смесеобразованием. Это свидетельствует о том, что двигатель со струйным смесеобразованием, несмотря на пониженную степень сжатия, будет все же экономичнее двигателя с предкамерным смесеобразованием, работающего с тем же максимальным давлением сгорания. Причина этого, по-видимому, заключается в том, что наличие предкамеры увеличивает потери теплоты от теплообмена со стенками и недогорания топлива. Кроме того, в двигателе с предкамерой, работающем с более высокими температурами сгорания, чем двигатель с пониженной степенью сжатия, возрастают и потери теплоты, связанные с диссоциацией продуктов сгорания.

Рассмотренные примеры далеко не исчерпывают круг задач, которые можно успешно решать с помощью предлагаемого метода расчета действительного рабочего процесса быстроходного дизеля с высоким наддувом. В частности, большой практический интерес представляет оптимизационная задача по выбору рациональных параметров рабочего процесса (p_k , T_k , ϵ , α , $\phi_{впр}$, Θ), обеспечивающих получение заданного среднего индикаторного давления (при принятых ограничениях по максимальному давлению сгорания p_z) с минимально возможным при рассматриваемых условиях значением индикаторного удельного расхода топлива. Такая задача может быть решена на ЭВМ путем проведения вариантных расчетов по предлагаемой методике с перебором ряда возможных значений p_k , T_k , ϵ , α , $\phi_{впр}$, Θ и поиском таких их совокупностей, которые отвечают заданным граничным условиям.

Из выполненного исследования вытекают следующие важные для практики положения.

- Впервые в теории двигателей внутреннего сгорания с непосредственным впрыском топлива выполнено аналитическое интегрирование дифференциального

уравнения баланса теплоты в цилиндре двигателя при сгорании топлива. В результате получены уравнения, устанавливающие непосредственную связь давления и температуры газа с углом поворота коленчатого вала и характеристикой топливоподачи, в том числе уравнения для расчета максимальных давления и температуры сгорания и индикаторных параметров дизеля – индикаторного КПД и среднего индикаторного давления.

- Показана определяющая роль характеристики топливоподачи в развитии процесса тепловыделения при высоком наддуве и в первую очередь – продолжительности впрыска топлива и фактора динамичности цикла (относительного количества топлива, поданного за период задержки воспламенения). На основании обработки экспериментальных индикаторных диаграмм быстроходного дизеля с высоким наддувом получены обобщенные эмпирические зависимости, устанавливающие связь относительного количества теплоты, выделившейся за основной период сгорания, и продолжительности всего процесса сгорания с фактором динамичности цикла.

- Двигатель с высоким наддувом и низкой степенью сжатия имеет при прочих равных условиях меньшие относительные потери индикаторной работы в действительном цикле, чем дизель с умеренным наддувом и повышенной степенью сжатия. Это открывает широкие возможности для форсирования дизеля высоким наддувом при условии одновременного сокращения продолжительности подачи топлива до 45...50 °ПКВ при цикловых подачах 450...550 мг/цикл.

- Установлено, что в дизеле с высоким наддувом около 40 % суммарных потерь индикаторной работы в действительном цикле приходится на долю потерь вследствие теплоотдачи в стенки, остальные 60 % составляют потери вследствие несовершенства процессов смесеобразования и сгорания топлива. Сокращение каждого вида этих потерь на 50...60 % позволит повысить индикаторный КПД дизеля (при регулировании последнего на то же значения p_z , что у исходного двигателя) на 3,5...4 % вследствие уменьшения потерь на теплоотдачу и еще на 4...5 % при улучшении совершенства процессов смесеобразования и сгорания.

Литература

1. Теория двигателей внутреннего сгорания / Под ред. Дьяченко Н.Х. – М.: Машиностроение, 1974. – 552 с.
2. Жуков В.П., Павличенко А.М. Исследование характеристик тепловыделения ДВС по нагрузочной характеристике с помощью методов нелинейного программирования. Труды НКИ, вып. 12. – Николаев: НКИ, 1976. – С. 50-55.
3. Двигатели внутреннего сгорания: Теория поршневых и комбинированных двигателей: Учеб. для ВТУЗов по специальности «Двигатели внутреннего сгорания» / Вырубов Д.Н., Иващенко Н.А., Ивин В.И. и др. Под ред. А.С. Орлина, М.Г. Круглова, 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1983. – 372 с.
4. Воинов А.Н. Сгорание в быстроходных поршневых двигателях. – М.: Машиностроение, 1977. – 275 с.
5. Разлейцев Н.Ф., Семёнов Н.Г., Левкович С.А. Расчет процесса сгорания в тепловозном дизеле: Респ. межвед. науч.-техн. сборник, вып. 27. – Харьков: Выща школа, 1978. – 82 с.
6. Портнов Д.А. Быстроходные турбопоршневые двигатели с воспламенением от сжатия. – М.: Машгиз, 1963. – 638 с.
7. Толстов А.И. Процессы смесеобразования и сгорания в быстроходных двигателях с воспламенением от сжатия при наддуве. Труды ВНИТОЭ. – М.: Машгиз, 1954.
8. Роганов С.Г. Аналитическое определение коэффициента остаточных газов в двухтактных двигателях // Известия вузов. – 1964. – № 7. – С. 15-18.

Исследование влияния метанола-топливной эмульсии в дизеле 4Ч 11,0/12,5 и природного газа в дизеле 4ЧН 11,0/12,5 на показатели процесса сгорания, объемное содержание и массовую концентрацию оксидов азота в зависимости от нагрузки

В.А. Лиханов, профессор, заведующий кафедрой тепловых двигателей, автомобилей и тракторов ФГБОУ ВО Вятская ГСХА, д.т.н.,

А.В. Гребнев, доцент кафедры тепловых двигателей, автомобилей и тракторов ФГБОУ ВО Вятская ГСХА, к.т.н.,

М.Л. Скрябин, доцент кафедры тепловых двигателей, автомобилей и тракторов ФГБОУ ВО Вятская ГСХА, к.т.н.,

А.Е. Торопов, доцент кафедры тепловых двигателей, автомобилей и тракторов ФГБОУ ВО Вятская ГСХА, к.т.н.

В статье рассмотрена возможность применения альтернативных видов топлива (метанола-топливная эмульсия и природный газ) для автотракторных дизелей, исследованы показатели процесса сгорания и экологические показатели на различных нагрузочных режимах в сравнении с использованием дизельного топлива.

Ключевые слова:

метанола-топливная эмульсия, природный газ, показатели процесса сгорания, оксиды азота.

Возможное применение метанола-топливных эмульсий (МТЭ) в качестве топлива для автомобильных и тракторных дизелей актуально в первую очередь тем, что в условиях дефицита дизельного топлива (ДТ) метанол может быть получен из любого газообразного топлива, а также из пищевых и сельскохозяйственных отходов. Создание топлива из органических компонентов позволит отрасли растениеводства

стать производителем экологически чистых моторных топлив из возобновляемых энергетических источников.

В научно-исследовательской лаборатории Вятской ГСХА на кафедре ДВС были проведены исследования влияния применения метанола-топливной эмульсии на эффективные и экологические показатели дизеля 4Ч 11,0/12,5 при работе на различных скоростных и нагрузочных режимах.

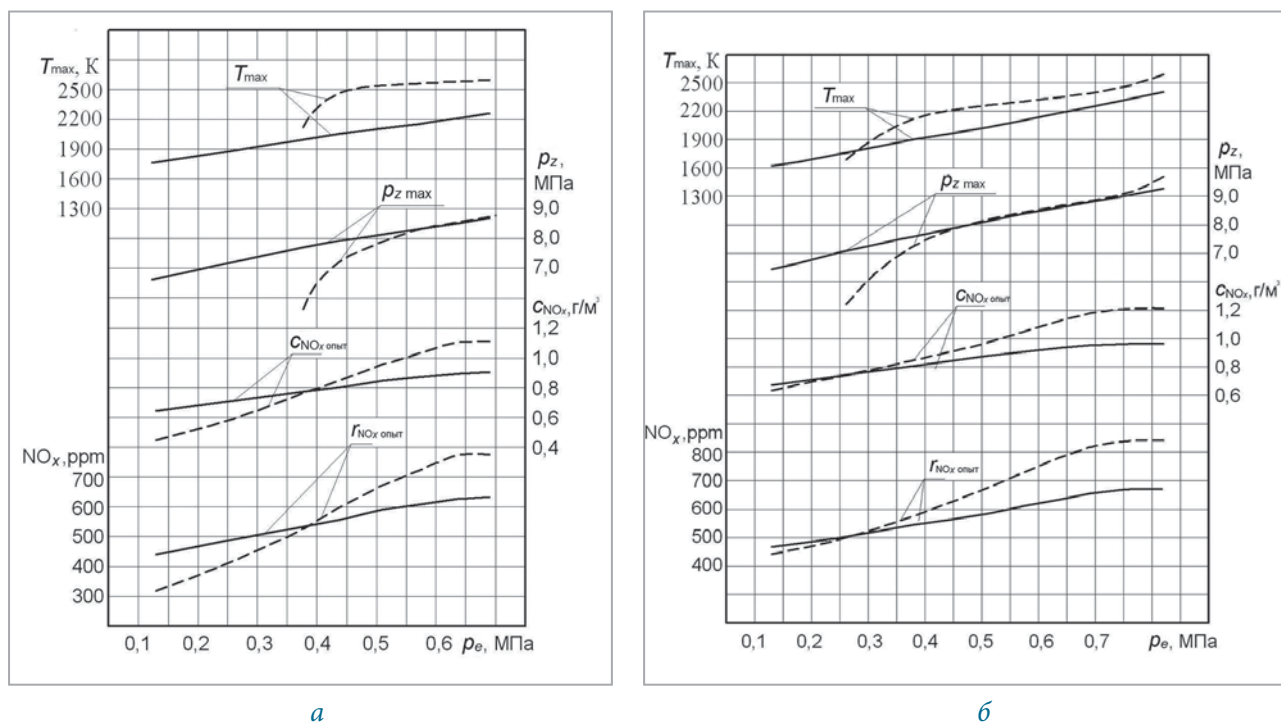


Рис. 1. Влияние применения МТЭ на показатели процесса сгорания в цилиндре, объемного содержания $r_{\text{NO}_x \text{ опыт}}$, массовой концентрации $c_{\text{NO}_x \text{ опыт}}$ оксидов азота в отработавших газах дизеля 4Ч 11,0/12,5 на оптимальных углах в зависимости от изменения нагрузки: а – $n = 2200 \text{ мин}^{-1}$; б – $n = 1700 \text{ мин}^{-1}$; — — — — — ДТ; - - - - - МТЭ

На рис. 1а представлено влияние применения МТЭ на показатели процесса сгорания в цилиндре, показатели объемного содержания $r_{\text{NO}_x \text{ опыт}}$, массовой концентрации $c_{\text{NO}_x \text{ опыт}}$ оксидов азота в отработавших газах (ОГ) дизеля 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения нагрузки $n = 2200 \text{ мин}^{-1}$ [1].

Из графиков видно, что при работе на ДТ с увеличением нагрузки растет максимальное давление сгорания $p_{z \text{ max}}$ от 6,64 МПа при $p_e = 0,13 \text{ МПа}$ до 8,72 МПа при $p_e = 0,70 \text{ МПа}$. Увеличение максимального давления сгорания $p_{z \text{ max}}$ составляет 2,08 МПа, или 23,8 %. Максимальная осредненная температура T_{max} в цилиндре дизеля возрастает с 1760 К при $p_e = 0,13 \text{ МПа}$ до 2270 К при $p_e = 0,70 \text{ МПа}$. Рост максимальной осредненной температуры T_{max} составляет 510 К, или 22,5 %. Объемное содержание $r_{\text{NO}_x \text{ опыт}}$ и массовая концентрация $c_{\text{NO}_x \text{ опыт}}$ оксидов азота NO_x при работе дизеля на ДТ с возрастанием нагрузки

увеличиваются соответственно с 441 ppm и $0,63 \text{ г/м}^3$ на минимальной нагрузке при $p_e = 0,13 \text{ МПа}$ до 636 ppm и $0,915 \text{ г/м}^3$ при $p_e = 0,70 \text{ МПа}$ [1].

При работе на МТЭ с увеличением нагрузки максимальное давление сгорания $p_{z \text{ max}}$ возрастает с 5,61 МПа при $p_e = 0,38 \text{ МПа}$ до 8,77 МПа при $p_e = 0,70 \text{ МПа}$. Увеличение максимального давления сгорания $p_{z \text{ max}}$ составляет 3,16 МПа, или 36,0 %. Максимальная осредненная температура T_{max} при работе на МТЭ увеличивается от 2120 К при $p_e = 0,38 \text{ МПа}$ до 2600 К при $p_e = 0,70 \text{ МПа}$. Рост максимальной осредненной температуры T_{max} при изменении нагрузки составляет 480 К, или 18,5 %. Объемное содержание $r_{\text{NO}_x \text{ опыт}}$ и массовая концентрация $c_{\text{NO}_x \text{ опыт}}$ оксидов азота NO_x при работе дизеля на МТЭ с возрастанием нагрузки увеличиваются соответственно с 315 ppm и $0,45 \text{ г/м}^3$ на минимальной нагрузке при $p_e = 0,13 \text{ МПа}$ до 774 ppm и $1,11 \text{ г/м}^3$ при $p_e = 0,70 \text{ МПа}$.

При переходе с ДТ на МТЭ при номинальной частоте вращения $n = 2200 \text{ мин}^{-1}$ и $p_e = 0,82 \text{ МПа}$ происходит увеличение максимальной осредненной температуры T_{max} с 2220 до 2580 К, то есть максимальная осредненная температура увеличивается на 16,2 %. Максимальное давление сгорания $p_{z \text{ max}}$ увеличивается с 8,51 до 8,54 МПа, или на 0,4 %.

На рис. 16 представлено влияние применения МТЭ на показатели процесса сгорания в цилиндре, объемного содержания $r_{\text{NO}_x \text{ опыт}}$, массовой концентрации $c_{\text{NO}_x \text{ опыт}}$ оксидов азота в отработавших газах дизеля 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения нагрузки $n = 1700 \text{ мин}^{-1}$ [1].

Из графиков видно, что при работе на ДТ при увеличении нагрузки растет и максимальное давление сгорания $p_{z \text{ max}}$ от 6,45 МПа при $p_e = 0,13 \text{ МПа}$ до 9,29 МПа при $p_e = 0,82 \text{ МПа}$. Увеличение максимального давления сгорания $p_{z \text{ max}}$ составляет 2,84 МПа, или 30,5 %. Максимальная осредненная температура T_{max} в цилиндре возрастает с 1620 К при $p_e = 0,13 \text{ МПа}$ до 2400 К при $p_e = 0,82 \text{ МПа}$. Рост максимальной температуры составляет 780 К, или 32,5 %. Объемное содержание $r_{\text{NO}_x \text{ опыт}}$ и массовая концентрация $c_{\text{NO}_x \text{ опыт}}$ оксидов азота NO_x при работе дизеля на ДТ с возрастанием нагрузки увеличиваются соответственно с 465 ppm и $0,67 \text{ г/м}^3$ на минимальной нагрузке при $p_e = 0,13 \text{ МПа}$ до 671 ppm и $0,96 \text{ г/м}^3$ при $p_e = 0,70 \text{ МПа}$.

При работе дизеля 4Ч 11,0/12,5 на МТЭ показатели процесса сгорания изменяются во всем диапазоне изменения нагрузки. Из графиков видно, что при увеличении нагрузки максимальное давление сгорания $p_{z \text{ max}}$ возрастает с 5,2 МПа при $p_e = 0,26 \text{ МПа}$ до 9,72 МПа при $p_e = 0,82 \text{ МПа}$. Увеличение максимального давления сгорания $p_{z \text{ max}}$ составляет 4,52 МПа, или 46,6 %. Максимальная осредненная температура T_{max} при работе на МТЭ увеличивается от 1690 К

при $p_e = 0,26 \text{ МПа}$ до 2590 К при $p_e = 0,82 \text{ МПа}$. Рост максимальной осредненной температуры T_{max} составляет 900 К, или 53,2 %. Объемное содержание $r_{\text{NO}_x \text{ опыт}}$ и массовая концентрация $c_{\text{NO}_x \text{ опыт}}$ оксидов азота NO_x при работе дизеля на МТЭ с возрастанием нагрузки увеличиваются соответственно с 441 ppm и $0,63 \text{ г/м}^3$ на минимальной нагрузке при $p_e = 0,13 \text{ МПа}$ до 839 ppm и $1,21 \text{ г/м}^3$ при $p_e = 0,70 \text{ МПа}$ [1].

При переходе с ДТ на МТЭ при частоте вращения $n = 1700 \text{ мин}^{-1}$ и $p_e = 0,82 \text{ МПа}$ происходит увеличение максимальной осредненной температуры T_{max} с 2400 до 2590 К, то есть максимальная осредненная температура увеличивается на 7,9 %. Максимальное давление сгорания $p_{z \text{ max}}$ увеличивается с 9,29 до 9,72 МПа, что составляет 4,3 %. Таким образом, увеличение объемного содержания $r_{\text{NO}_x \text{ опыт}}$ и массовой концентрации $c_{\text{NO}_x \text{ опыт}}$ оксидов азота при работе дизеля на МТЭ на оптимальных установочных УОВТ при $n = 1700 \text{ мин}^{-1}$ и $p_e = 0,82 \text{ МПа}$ составляет соответственно 168 ppm и $0,24 \text{ г/м}^3$, или 25,0 %.

На основании полученных данных можно сделать вывод, что применение МТЭ не позволяет обеспечить снижение объемного содержания $r_{\text{NO}_x \text{ опыт}}$ и массовой концентрации $c_{\text{NO}_x \text{ опыт}}$ оксидов азота во всем диапазоне изменения нагрузки [1].

На рис. 2 представлено объемное содержание r_{NO_x} и массовая концентрация c_{NO_x} оксидов азота, а также показатели процесса сгорания в дизеле с турбонаддувом и ПОНВ 4ЧН 11,0/12,5 в зависимости от нагрузки для номинальной частоты вращения $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$ и частоты вращения при максимальном крутящем моменте $n = 1700 \text{ мин}^{-1}$ при работе на дизельном топливе или природном газе на оптимальных установочных УОВТ. По показателям объемного содержания r_{NO_x} , массовой концентрации c_{NO_x} и процесса сгорания, а также с учетом эффективных показателей

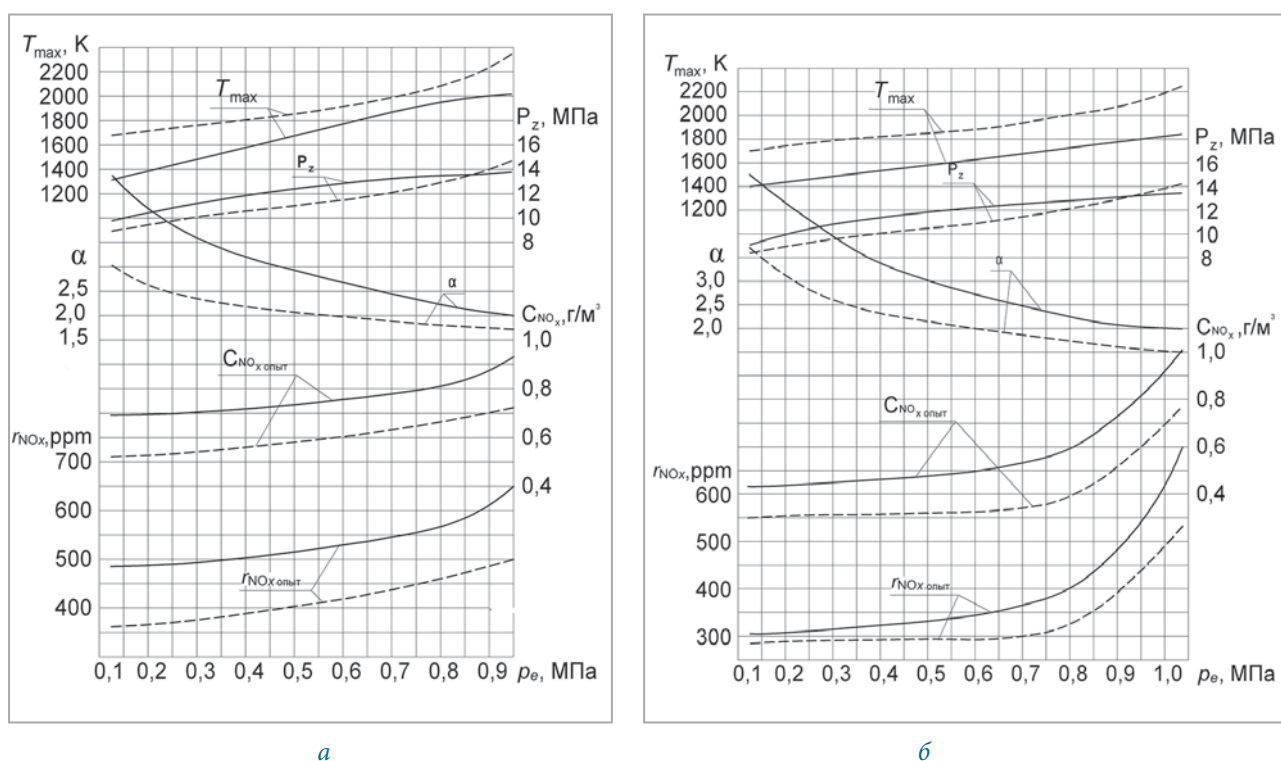


Рис. 2. Влияние применения природного газа на объемное содержание и массовую концентрацию оксидов азота и показатели процесса сгорания дизеля с турбонаддувом и ПОНВ 4ЧН 11,0/12,5 в зависимости от нагрузки на оптимальных установочных УОВТ:

a – $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$; $p_{e \text{ max}} = 0,947 \text{ МПа}$; *б* – $n = 1700 \text{ мин}^{-1}$; $p_{e \text{ max}} = 1,036 \text{ МПа}$;

———— – дизельный процесс; - - - - – газодизельный процесс

необходимо принять оптимальный установочный УОВТ $\Theta_{\text{впр}} = 7^\circ$ для газодизельного процесса и $\Theta_{\text{впр}} = 9^\circ$ для дизельного процесса [2].

Сравнивая оптимальные установочные УОВТ, следует отметить, что при $n=2400 \text{ мин}^{-1}$ на газодизельном режиме температура увеличивается от 1700 К при $p_e=0,126 \text{ МПа}$ до 2350 К при $p_e=0,947 \text{ МПа}$ (на 650 К, или 38 %), на дизельном – с 1250 К при $p_e=0,126 \text{ МПа}$ до 2020 К при $p_e=0,947 \text{ МПа}$ (на 770 К, или 61 %). Таким образом, значение максимальной осредненной температуры при газодизельном цикле на оптимальных установочных УОВТ увеличивается на 330 К, или на 16 %. Значение максимального давления сгорания p_z для газодизельного цикла возрастает с 9 МПа при $p_e=0,126 \text{ МПа}$ до 14,6 МПа при $p_e=0,947 \text{ МПа}$ (на 5,6 МПа, или на

62 %), для дизельного цикла p_z возрастает с 9,5 МПа при $p_e=0,126 \text{ МПа}$ до 13,8 МПа при $p_e=0,947 \text{ МПа}$ (на 4,3 МПа или на 45 %).

При работе на газодизельном режиме максимальное давление цикла увеличивается на 0,8 МПа, или на 6 %. Коэффициент избытка воздуха α при работе по газодизельному циклу с возрастанием нагрузки уменьшается с 3,05 при $p_e=0,126 \text{ МПа}$ до 1,7 при $p_e=0,947 \text{ МПа}$ (на 1,35, или на 42 %) [2].

На дизельном цикле α уменьшается с 5,3 при $p_e=0,126 \text{ МПа}$ до 2,0 при $p_e=0,947 \text{ МПа}$ (на 3,3, или на 62 %). Таким образом, уменьшение коэффициента избытка воздуха α при работе по газодизельному циклу составляет 15 %. Объемное содержание r_{NO_x} и массовая концентрация c_{NO_x} оксидов азота при работе по газодизельному циклу с возрастанием нагрузки

увеличиваются соответственно с 365 ppm и $0,52 \text{ г/м}^3$ на минимальной нагрузке при $p_e=0,126 \text{ МПа}$ до 499 ppm и $0,72 \text{ г/м}^3$ при $p_e=0,947 \text{ МПа}$ [2].

По дизельному циклу с возрастанием нагрузки объемное содержание r_{NO_x} и массовая концентрация c_{NO_x} оксидов азота увеличивается соответственно с 480 ppm и $0,69 \text{ г/м}^3$ на минимальной нагрузке при $p_e=0,126 \text{ МПа}$ до 650 ppm и $0,75 \text{ г/м}^3$ при $p_e=0,947 \text{ МПа}$.

Таким образом, снижение объемного содержания r_{NO_x} и массовой концентрации c_{NO_x} оксидов азота при работе по газодизельному циклу на оптимальных установочных УОВТ и $n=2400 \text{ мин}^{-1}$ составляет 151 ppm, или 23 %.

При частоте вращения максимального крутящего момента $n=1700 \text{ мин}^{-1}$ на газодизельном процессе температура увеличивается от 1700 К при $p_e=0,126 \text{ МПа}$ до 2240 К при $p_e=1,036 \text{ МПа}$ (на 540 К, или 31 %), на дизельном – с 1400 К при $p_e=0,126 \text{ МПа}$ до 1840 К при $p_e=1,036 \text{ МПа}$ (на 440 К, или 31 %). Таким образом, значение максимальной осредненной температуры при газодизельном цикле на оптимальных установочных УОВТ увеличивается на 400 К, или на 22 %. Значение максимального давления сгорания p_z для газодизельного цикла возрастает с 8,2 МПа при $p_e=0,126 \text{ МПа}$ до 14,2 МПа при $p_e=1,036 \text{ МПа}$ (на 6 МПа, или на 73 %), для дизельного цикла p_z возрастает с 9,4 МПа при $p_e=0,126 \text{ МПа}$ до 13,5 МПа при $p_e=1,036 \text{ МПа}$ (на 4,1 МПа, или на 43 %).

При работе на газодизельном процессе максимальное давление цикла увеличивается на 0,7 МПа, или на 5 %. Коэффициент избытка воздуха α при работе по газодизельному циклу с возрастанием нагрузки уменьшается с 3,7 при $p_e=0,126 \text{ МПа}$ до 1,5 при $p_e=1,036 \text{ МПа}$ (на 2,2, или на 59 %). На дизельном цикле α уменьшается с 5,2 при $p_e=0,126 \text{ МПа}$ до 2,0 при $p_e=1,036 \text{ МПа}$ (на 3,2, или на 61 %). Таким образом,

уменьшение коэффициента избытка воздуха α при работе по газодизельному циклу составляет 25 %. Объемное содержание r_{NO_x} и массовая концентрация c_{NO_x} оксидов азота при работе по газодизельному циклу с возрастанием нагрузки увеличиваются соответственно с 270 ppm и $0,39 \text{ г/м}^3$ на минимальной нагрузке при $p_e=0,126 \text{ МПа}$ до 528 ppm и $0,76 \text{ г/м}^3$ при $p_e=1,036 \text{ МПа}$. По дизельному циклу с возрастанием нагрузки объемное содержание r_{NO_x} и массовая концентрация c_{NO_x} оксидов азота увеличиваются соответственно с 310 ppm и $0,45 \text{ г/м}^3$ на минимальной нагрузке при $p_e=0,126 \text{ МПа}$ до 700 ppm и $1,01 \text{ г/м}^3$ при $p_e=1,036 \text{ МПа}$. Таким образом, снижение объемного содержания r_{NO_x} и массовой концентрации c_{NO_x} при работе по газодизельному циклу на оптимальных установочных УОВТ и $n=2400 \text{ мин}^{-1}$ составляет 172 ppm, или 24 % [2].

Снижение объемного содержания r_{NO_x} и массовой концентрации c_{NO_x} оксидов азота при работе дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с ПОНВ на всех режимах для газодизельного цикла при возрастающей температуре газодизельного процесса связано с температурной неравномерностью в зоне продуктов сгорания, а также с тем, что время нахождения продуктов сгорания в зоне максимальных температур снижается вследствие более интенсивного процесса сгорания. При совместном использовании турбонаддува и промежуточного охлаждения наддувочного воздуха увеличивается скорость охлаждения продуктов сгорания, так как топливовоздушная смесь, поступающая в цилиндр, имеет более низкую температуру, а это значительно снижает выход оксидов азота.

Для оптимальных установочных УОВТ $\Theta_{\text{впр}}=9^\circ$ характерна стабильная устойчивая работа. Жесткость рабочего процесса при газодизельном цикле $(dp/d\phi)_{\text{max}}$ превышает 1 МПа/град на всем диапазоне нагрузок.

Увеличение показателей процесса сгорания при работе по газодизельному режиму объясняется в первую очередь тем, что при работе на природном газе увеличивается угол, соответствующий периоду задержки воспламенения $\varphi_{i \text{ гд}}$, то есть процесс сгорания в цилиндре дизеля происходит в меньший период времени и более интенсивно, что, в свою очередь, препятствует окислению азота метановоздушной смесью в условиях недостатка кислорода, замедляет процесс образования оксидов азота в цилиндре и, соответственно, снижает их содержание в отработавших газах дизеля.

Снижение объемного содержания оксидов азота для газодизельного цикла при возрастающей температуре газодизельного процесса связано с температурной неравномерностью в зоне сгорания, а также с тем, что время нахождения продуктов сгорания в зоне максимальных температур снижается вследствие более интенсивного процесса сгорания. При совместном использовании турбонаддува и промежуточного охлаждения наддувочного воздуха увеличивается скорость охлаждения продуктов сгорания, так как топливовоздушная смесь, поступающая в цилиндр, имеет более низкую температуру, а это значительно снижает выход оксидов азота.

На основании анализа полученных данных можно сделать выводы, что наилучшие результаты по объемному содержанию r_{NO_x} и массовой концентрации c_{NO_x} оксидов азота в отработавших газах, удельному расходу топлива g_e , жесткости процесса сгорания $(dp/d\varphi)_{\text{max}}$ дизеля с турбонаддувом и ПОНВ 4ЧН 11,0/12,5 получаются на номинальной частоте вращения $n=2400 \text{ мин}^{-1}$ с $p_{e \text{ max}}=0,947 \text{ МПа}$ и частоте вращения максимального крутящего момента $n=1700 \text{ мин}^{-1}$ с $p_{e \text{ max}}=1,036 \text{ МПа}$ при одновременной подаче запальной порции дизельного топлива и природного газа на установочном УОВТ $\Theta_{\text{впр}}=7^\circ$ для газодизельного процесса и на установочном УОВТ $\Theta_{\text{впр}}=9^\circ$ для дизельного процесса.

Рассматривая комплексные параметры показателей процесса сгорания и концентрации оксидов азота в цилиндре исследуемых дизелей при работе на альтернативных видах топлива, можно отметить аналогичные графические зависимости температурных характеристик при работе на оптимальных установочных углах опережения впрыскивания топлива. Применение МТЭ не позволяет добиться снижения объемного содержания и массовой концентрации оксидов азота в цилиндре дизеля 4Ч 11,0/12,5.

Литература

1. Лиханов В.А., Торопов А.Е. Улучшение экологических показателей дизеля 4Ч 11,0/12,5 при работе на метаноле-топливной эмульсии путем снижения дымности отработавших газов: монография. – Киров: Вятская ГСХА, 2010. – 142 с.
2. Лиханов В.А., Лопатин О.П., Скрябин М.Л. Исследование процессов образования и разложения оксидов азота в цилиндре дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха при работе на природном газе: монография – Киров: Вятская ГСХА, 2008. – 146 с.

Развитие методов снижения выбросов двухфазного криогенного продукта при испытании энергетической установки

В. А. Шишков, начальник технического отдела ООО «Рекар» (Тольятти), академик РАН, д.т.н.

Определены технологические процессы и уровни потерь криогенного продукта в полном цикле от момента его доставки до окончания испытания энергетической установки при ее доводке. Цель работы – снижение стоимости проведения испытаний. Поставлены задачи по минимизации и утилизации потерь криогенного продукта при проведении испытаний. Разработаны алгоритмы и методики определения потерь криогенного продукта в различных технологических процессах, которые позволяют оптимизировать проведение испытания энергетической установки. На основе разработанных методик выполнены расчеты и определены относительные потери криогенного продукта в зависимости от применяемой теплоизоляции криогенных трубопроводов и арматуры, начальной и конечной температур системы подачи, давления криогенного продукта в процессе охлаждения, материала трубопроводов и вида криогенного продукта (водород, азот, кислород). Предложены методы и технические решения по снижению и утилизации выбросов криогенного продукта в зависимости от его расхода в технологических процессах при проведении испытаний энергетических установок. Для снижения потерь криогенного продукта даны рекомендации по параметрам и условиям при проведении технологической операции охлаждения трубопроводов, агрегатов стенда и энергетической установки при ее испытании. Работа предназначена для инженеров, конструкторов и технологов испытательных станций.

Ключевые слова:

энергетическая установка, криогенный продукт, относительные потери на охлаждение, испытание.

Актуальность работы

Энергетический кризис, порожденный быстрым ростом производственных мощностей и снижением запасов природных богатств органических соединений на основе нефти, требует ускорения темпов по разработке, испытаниям, доводке и вводу в эксплуатацию энергетических установок, работающих на перспективных топливах. Одними из перспективных топлив являются жидкий водород [1] и сжиженный природный газ. Для испытаний энергетических установок и их топливорегулирующей аппаратуры были созданы испытательные стенды. Но стенды не имеют достаточной проработки всех систем. Поэтому возникли большие расходы криогенного продукта, связанные с выбросом в атмосферу азота, гелия, водорода и метана [2, 3].

Топливная система испытательного стенда состоит из следующих узлов: хранилище жидкого криогенного продукта в виде теплоизолированных емкостей с арматурой; система заправки от транспортных емкостей с системой продувки трубопроводов и емкостей; система подачи криогенного продукта из хранилища к турбонасосному агрегату с запорной арматурой и системой дренажа в атмосферу; турбонасосный агрегат стендовый или установленный на энергетической установке с системой «байпас»; теплообменник стендовый или установленный в энергетической установке; агрегаты системы управления; системы дренажа на выходе из турбонасосного агрегата и на выходе из теплообменника; система наддува и дренажа емкостей хранилища криогенного продукта.

Доли потерь криогенного продукта (рис. 1) при проведении испытания энергетической установки:

1. При транспортировке криогенного продукта от завода-производителя до хранилища испытательного стенда – на охлаждение жидкой фазы с помощью дренажирования газовой фазы (0,729... 0,857 %).

2. При сливе криогенного продукта из транспортных емкостей в емкости хранилища на стенде – потери на охлаждение и продувку/очистку трубопроводов (1,215...2,286 %).

3. При хранении жидкого криогенного продукта в емкостях на стенде между испытаниями – потери на охлаждение жидкой фазы путем дренажирования газовой фазы (0,729...0,857 %).

4. При термостатировании емкости за счет выпаривания части жидкой фазы криогенного продукта перед испытанием для получения более низкой температуры на входе энергетической установки (до 3,429 %).

5. При охлаждении криогенных стендовых трубопроводов и арматуры перед испытанием (3,429...4,286 %).

6. Выбросы в атмосферу при проведении испытаний насосного агрегата для энергетической установки – захолаживание агрегатов для проверки их прочности и работоспособности при низких температурах, определение рабочих характеристик, ресурсные испытания энергетической установки (12,57...18,57 %).

7. Потери, связанные с наддувом хранилища жидкого криогенного продукта для создания избыточного рабочего давления на входе в насос (0,171...0,214 %).

8. При очистке трубопроводов до и после проведения испытания с выбросом криогенного продукта в атмосферу (до 1,714 %). Эти выбросы зависят от объема трубопроводов, заполненных жидкой фазой криогенного продукта, и от наличия линии их слива в теплоизолированную емкость хранилища:

$$\Omega_8 = V_{\text{ост}} \rho_{\text{ж}} / m_{\text{м}}$$

где $V_{\text{ост}}$ – остаточный объем жидкого криогенного продукта в трубопроводах испытательного стенда; $\rho_{\text{ж}}$ – плотность криогенной жидкости; $m_{\text{м}}$ – масса криогенного трубопровода.

Суммарные потери криогенного продукта на испытательной станции составляют 36,19...45,07 %. В камере сгорания энергетической установки сгорает 54,93...63,81 %. Экономическая целесообразность утилизации потерь криогенного продукта зависит от периода времени проведения технологической операции, величины расхода на выброс, температурных внешних условий и затрат на выбранные способы и системы повторного его использования. Суммарные потери (рис. 1) криогенного продукта при испытании энергетической установки составляют:

$$\Omega_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n \Omega_i.$$

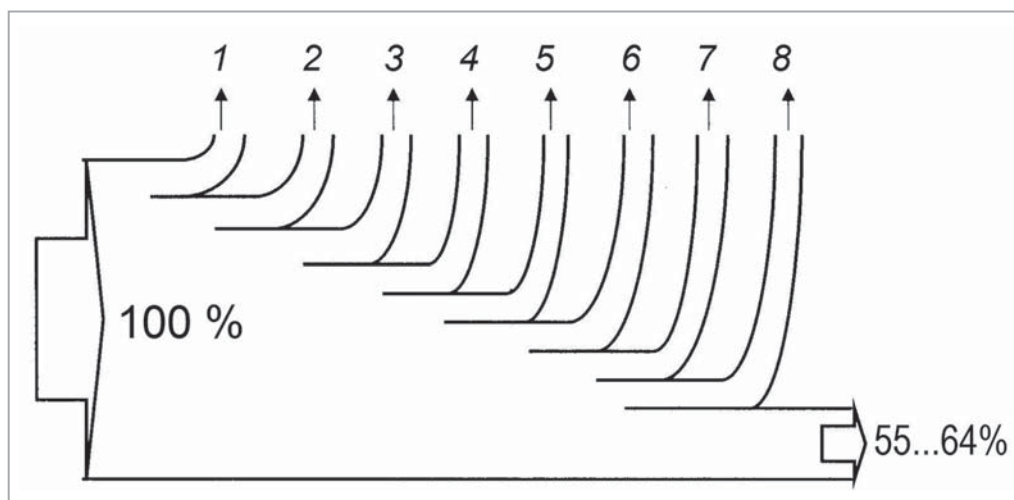


Рис. 1. Потери криогенного продукта при испытании энергетической установки

Возможными путями использования выбросов криогенного продукта при проведении испытаний могут быть:

- улучшение теплоизоляции трубопроводов, емкостей и агрегатов энергетической установки;
- применение установки для ожижения при больших расходах на выброс криогенного продукта или ожижителя Скотта при малых расходах;
- установка для дожигания горючих газов в газовом котле для выработки тепловой энергии;
- применение двигателя внутреннего сгорания для привода электрогенератора или насоса для перекачки воды в емкость, расположенную выше уровнем, с целью последующего использования ее потенциальной энергии;
- установка дополнительных газовых емкостей и компрессора для приема и хранения выбросов;
- электрохимическое сжигание горючего для получения электроэнергии (топливный элемент);
- использование высокого давления на наддув емкостей при сливе/заправке и перед началом испытания энергетической установки;
- использование хладоресурса криогенного продукта в сопутствующих технологических операциях и его химической энергии, например, кислорода, в окислительных процессах.

На рис. 2 показана классификация использования выбросов криогенного продукта при отработке энергетической установки.

При различных технологических операциях при проведении испытаний получают различные выбросы криогенного продукта в газовой, паровой или парожидкостной фазах. Для утилизации различных фаз криогенного продукта применяют разные методы. Для утилизации парожидкостной фазы криогенного продукта необходимо выполнить разделение фаз, а затем применить соответствующий метод охлаждения. В качестве разделителей паровой и жидкой фаз применяют следующие устройства: центробежные камеры, вихревые устройства, устройства поворота потока, отстойные криогенные камеры и т.д. В качестве устройств и способов для охлаждения жидкой фазы криогенного продукта могут быть термостатирование путем откачки паров из подушки емкости, различные по конструкции дросселирующие устройства, охлаждение другим криогенным продуктом, имеющим

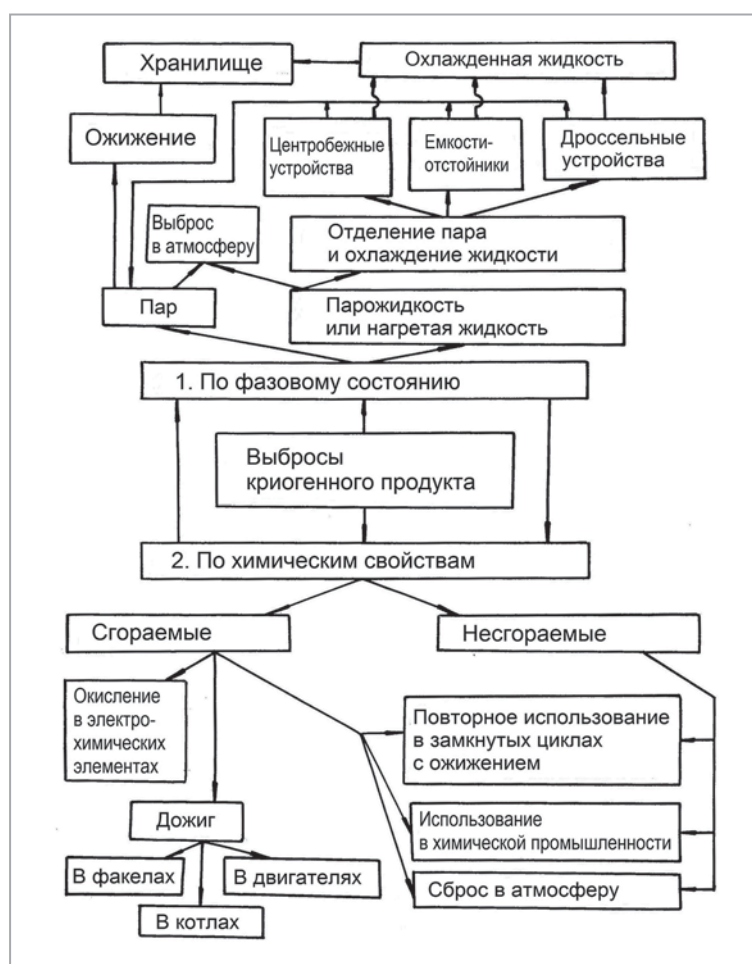


Рис. 2. Классификация использования выбросов криогенного продукта при отработке энергетической установки

более низкую температуру ожижения. Охлаждение паровой и газовой фаз обычно осуществляют в специальных циклах ожижения криогенного продукта.

На рис. 3 показаны варианты устройств дросселирования парожидкостной смеси криогенного продукта.

Потери криогенного продукта на захолаживание системы подачи

Минимальные относительные потери криогенной жидкости $\Omega_{\text{мин}} = m_{\text{ж}}/m_{\text{м}}$, где $m_{\text{ж}}$ – масса криогенной жидкости на захолаживание теплоизоляции и металла криогенного трубопровода или агрегата массой $m_{\text{м}}$.

Минимальные относительные потери на захолаживание систем подачи стэнда и энергетической установки с учетом внешнего теплопритока включают потери теплоты на испарение и нагрев жидкой и газовой фаз криогенного продукта [2, 4]

$$\Omega_{\text{мин}} = \left[\int_{T_0}^{T_{\text{к}}} (C_{\text{м}} + qF/m_{\text{м}}) dT \right] / \left(\int_{T_{0\text{ж}}}^{T_{\text{нас}}} C_{\text{ж}} dT + h_{\text{fg}} + \int_{T_{\text{нас}}}^{T_{\text{м}}} C_{\text{п}} dT \right),$$

где $T_{\text{к}}$ – конечная температура металла; T_0 – начальная температура металла;

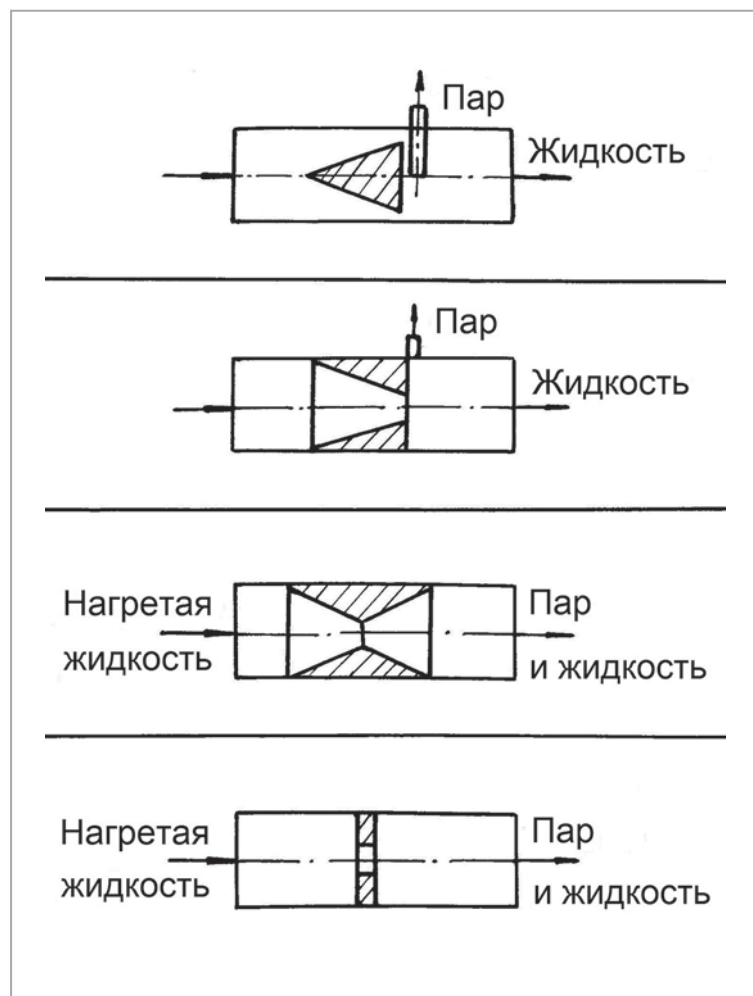


Рис. 3. Устройства дросселирования двухфазного криогенного продукта

$C_m = f(T_m)$ – теплоемкость металла в зависимости от температуры; $q = f(\Delta T)$ – тепловой поток через теплоизоляцию; F – площадь теплопередачи; $T_{нас}$ – температура насыщения криогенного продукта; $T_{0ж}$ – начальная температура криогенной жидкости; $C_ж = f(T_m)$ – теплоемкость жидкого криогенного продукта до линии насыщения; $h_{fg} = A \cdot h_{fgo} + (1-A) \cdot h_{fgп} = f(T)$ – скрытая теплота испарения криогенного продукта (h_{fgo} – ортоводород, $h_{fgп}$ – параводород, A – доля ортоводорода в смеси); T_m – температура металла равна температуре пара криогенного продукта; $C_p = f(T)$ – теплоемкость криогенного продукта в зависимости от температуры.

На рис. 4. приведены расчетные минимальные относительные потери на испарение жидкого нормального водорода [5, 6] при $p=0,1$ МПа для захлаживания до температуры 22 К коррозионной стали, нержавеющей стали X18H10T и меди.

Минимальные относительные потери (рис. 5) на поддержание низкой температуры систем стенда в процессе проведения испытания энергетической установки учитывают потери теплоты нагрева жидкой фазы и испарение криогенного продукта только на компенсацию теплопритока через изоляцию:

$$\Omega_{мин2} = \left[\int_{T_0}^{T_k} (qF / m_m) dT \right] / \left(\int_{T_{0ж}}^{T_{нас}} C_ж dT + h_{fg} \right).$$

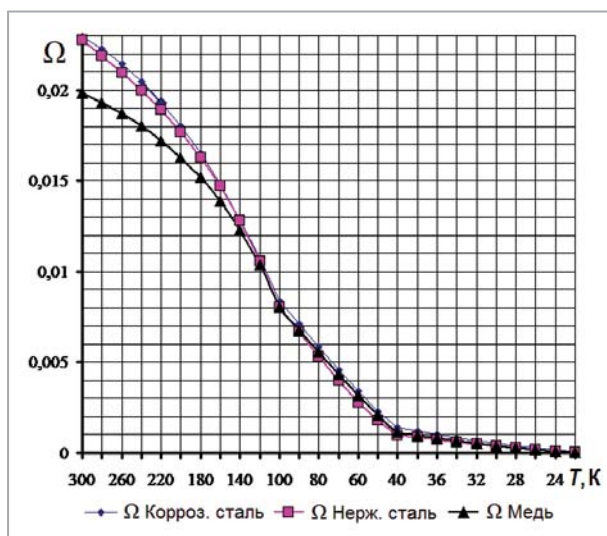


Рис. 4. Относительные потери на испарение жидкого нормально водорода при $p=0,1$ МПа на захлаживание коррозионной стали, нержавеющей стали X18H10T и меди

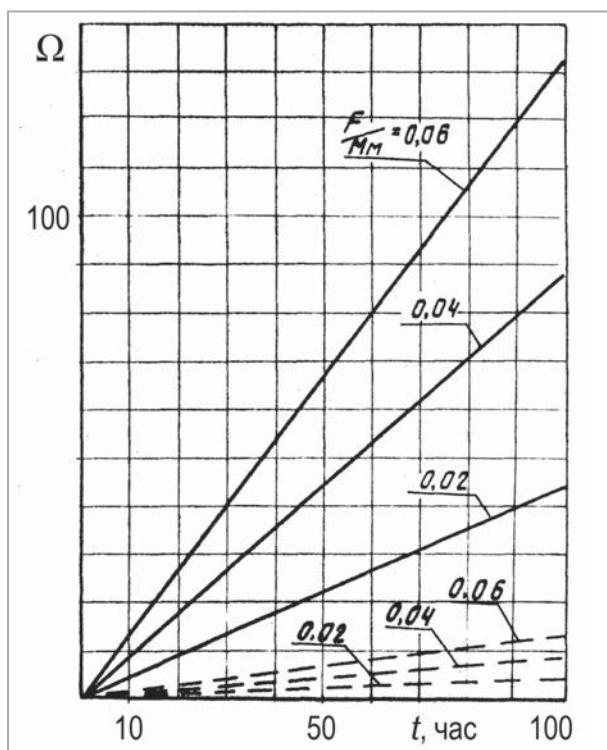


Рис. 5. Минимальные относительные потери на испарение параводорода при $p=0,1$ МПа для поддержания низкой температуры нержавеющей стали X18H10T при проведении испытания энергетической установки и компенсации теплопритока через изоляцию:
 ———— $q = 10\,000$ кдж/час м²;
 - - - - - $q = 1\,000$ кдж/час м²

Минимальные относительные потери криогенного продукта на захлаживание систем стенда и агрегатов энергетической установки для промежуточных диапазонов температур составляют:

$$\Delta\Omega_{\text{мин}} = \Omega_{\text{мин}T1} - \Omega_{\text{мин}T2}$$

Использование параводорода на захлаживание систем более эффективно из-за теплоты пара-орто-перехода, составляющей 16 дж/моль. Содержание параводорода в общей массе жидкой фазы обычно не превышает 2 %.

На рис. 6 приведена расчетная зависимость относительных потерь на испарение жидкого азота при $p=0,1$ МПа при захлаживании коррозионной стали, нержавеющей стали X18H10T и меди. Потери по массе жидкого азота на захлаживание системы в отличие от водорода в 11 раз больше из-за его низких теплоемкости и теплоты испарения. Если криогенный трубопровод, кроме экранно-вакуумной изоляции, имеет дополнительный трубопровод типа труба в трубе, то предварительное захлаживание целесообразно выполнять жидким азотом, направляя его в межтрубное пространство. Жидкий азот во много раз дешевле жидкого водорода.

На рис.7 приведена расчетная зависимость относительных потерь на испарение жидкого кислорода при $p=0,1$ МПа на захлаживание коррозионной стали, нержавеющей стали X18H10T и меди.

Эффективности захлаживания криогенных кислородных систем с помощью жидкого азота не наблюдается из-за примерно одинаковой теплоемкости и теплоты испарения азота и кислорода. Но захлаживание криогенных кислородных систем с помощью жидкого азота имеет несколько преимуществ: более высокая пожарная безопасность, азот не замерзнет в системе при последующей подаче жидкого кислорода, т.к. температура тройной точки его выше на 22,81 К.

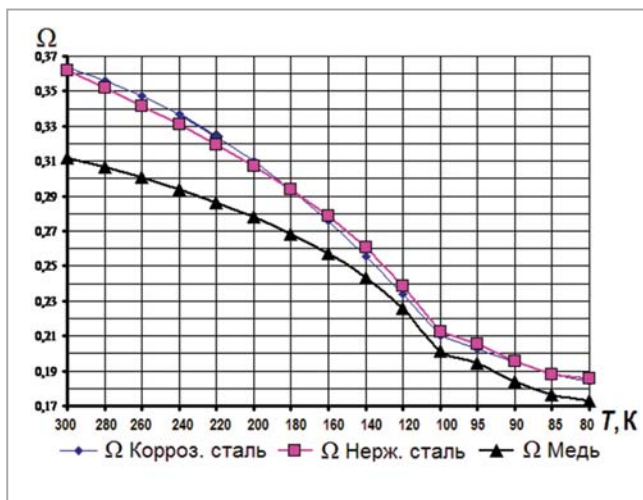


Рис. 6. Относительные потери на испарение жидкого азота при $p=0,1$ МПа для захлаживания коррозионной стали, нержавеющей стали X18H10T и меди

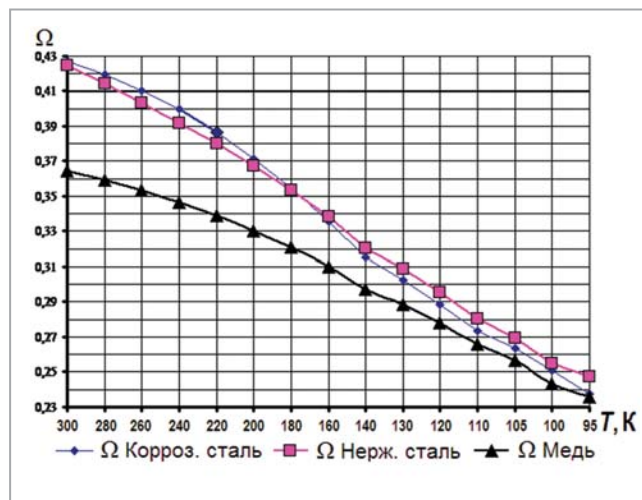


Рис. 7. Относительные потери на испарение жидкого кислорода при $p=0,1$ МПа для захлаживания коррозионной стали, нержавеющей стали X18H10T и меди

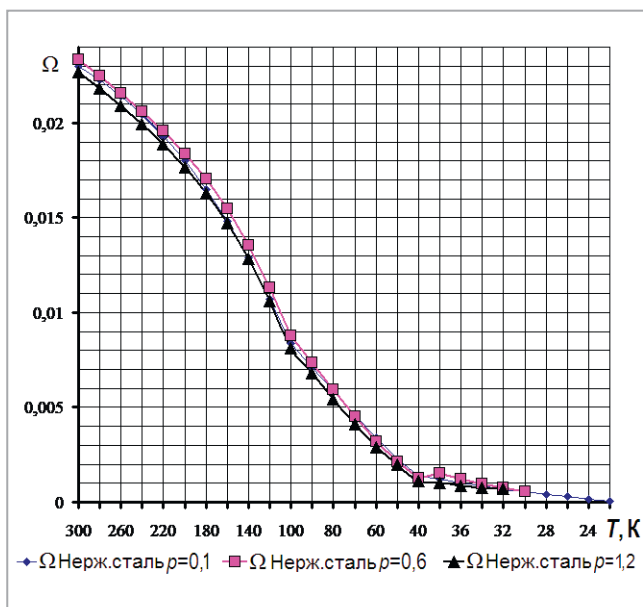


Рис. 8. Относительные минимальные потери на испарение жидкого нормального водорода при давлении 0,1; 0,6 и 1,2 МПа на захлаживание нержавеющей стали X18H10T

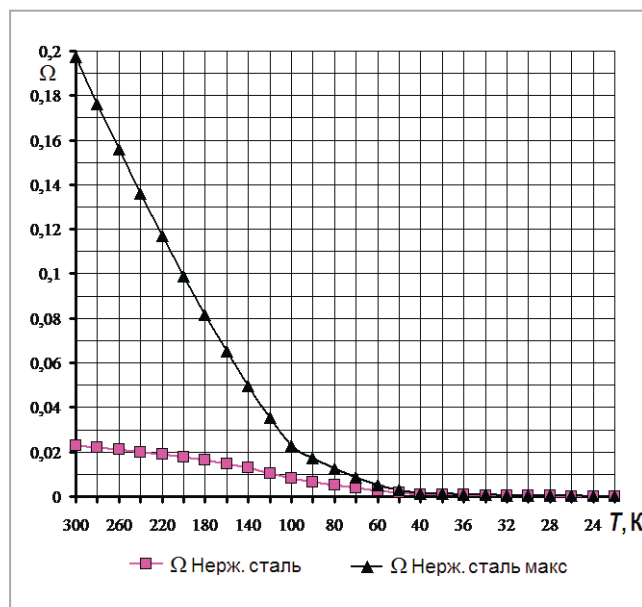


Рис. 9. Относительные максимальные и минимальные потери на испарение жидкого нормального водорода при $p=0,1$ МПа для захлаживания нержавеющей стали X18H10T

На рис. 8 приведена расчетная зависимость минимальных относительных потерь на испарение жидкого нормального водорода при различных давлениях для захлаживания нержавеющей стали X18H10T. Из рисунка видно, что отличие относительных потерь при различных давлениях незначительно. В целях повышения безопасности работ, а также снижения затрат на повышение давления криогенного продукта захлаживание систем стенда рекомендуется выполнять при низких давлениях.

Минимальные потери на испарение наблюдаются при давлении, близком к давлению в критической точке (1,2 МПа). Это можно объяснить асимптотическим возрастанием теплоемкости нормального водорода при приближении к критической точке. Средние значения минимальных потерь на испарение при захлаживании нержавеющей стали X18H10T в соответствии с расчетами наблюдаются при низком давлении (0,1 МПа) нормального водорода.

При большой скорости движения криогенного продукта максимальные удельные потери (рис. 9) на захлаживание не учитывают потери теплоты за счет нагрева газовой фазы.

При захлаживании нержавеющей стали X18H10T от 300 до 50 К максимальные потери на испарение жидкого нормального водорода при $p=0,1$ МПа больше минимальных потерь в 10 раз. При дальнейшем захлаживании от 50 до 20 К отличия в максимальных и минимальных потерях на испарение незначительные.

Варианты использования выбросов криогенного продукта при различных технологических операциях:

1. При перевозке криогенного продукта в транспортных емкостях выбросы на термостатирование имеют малые секундные расходы. Для утилизации наиболее приемлемы: ожижитель Скотта; для водорода топливный элемент для получения электрической энергии.

2. При сливах/заправках криогенного продукта из транспортных емкостей в стационарные получают выбросы с большими секундными расходами. Для утилизации приемлемы: ожижитель высокой производительности; предварительное охлаждение трубопроводов жидким азотом; конструкции трубопроводов и агрегатов с улучшенной теплоизоляцией; для метана и водорода применение двигателей внутреннего сгорания совместно с генератором.

3. При хранении криогенного продукта его потери характеризуются малыми секундными расходами. Для утилизации наиболее приемлемы: ожижитель Скотта; для водорода топливный элемент для получения электрической энергии; сбор выбросов в дополнительные емкости высокого давления с применением компрессоров.

4. При термостатировании криогенного продукта в емкости хранилища – на выбросе средние секундные расходы. Утилизация как в п. 3.

5. При захлаживании перед испытанием энергетической установки выбросы криогенного продукта с большими секундными расходами. Использование выбросов как в п. 2.

6. При испытании энергетической установки выбросы криогенного продукта с большими секундными расходами. Для утилизации выбросов наиболее

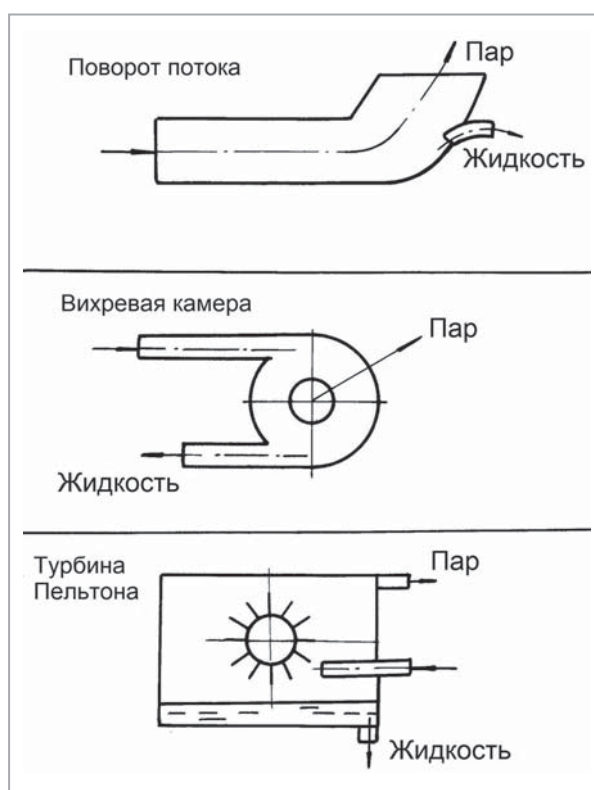


Рис. 10. Устройства разделения паровой и жидкой фаз криогенного продукта

приемлемы: ожижитель высокой производительности; использование системы «байпас» на отдельных участках системы подачи; совершенствование теплоизоляции систем стенда; использование эффекта охлаждения при дросселировании парожидкостной смеси криогенного продукта.

На рис. 10 показаны варианты для разделения паровой и жидкой фаз криогенного продукта (устройства поворота потока, вихревая камера, турбина Пельтона).

Выводы и предложения

1. Разработаны методы по снижению потерь криогенного продукта при проведении испытаний энергетических установок.
2. Минимальные потери (до -15 %) жидкого водорода наблюдаются при захлаживании меди от 300 до 120 К. Потери водорода при охлаждении от 120 до 20 К для нержавеющей стали и меди имеют незначительные отличия ($\pm 0...5\%$).
3. Использование параводорода на захлаживание систем более эффективно из-за теплоты пара-орто-перехода.
4. Для снижения потерь на захлаживание жидкого водорода целесообразно выполнять предварительное захлаживание жидким азотом.
5. Для повышения безопасности работ захлаживание криогенных кислородных систем целесообразно выполнять жидким азотом.
6. Для снижения потерь на испарение жидкого водорода процесс захлаживания нержавеющей стали необходимо выполнять при давлении, близком к давлению (1,2 МПа) в тройной точке. Для повышения безопасности проведения работ и снижения расходов на повышение давления захлаживание рекомендуется проводить при давлении близком к 0,1 МПа.
7. Из-за несовершенства системы подачи криогенного продукта максимальные потери на захлаживание системы могут быть в 10 раз больше минимальных.
8. Предложенная методика позволяет спланировать возможные потери криогенного продукта при проведении испытаний энергетической установки и утилизацию выбросов.

Литература

1. Гельперин И.И. Жидкий водород / И.И. Гельперин, А.А. Ильинский, О.А. Алмазов, И.А. Адугин. – М.: Химия, 1980. – 228 с.
2. Теплопередача при низких температурах / Под ред. У. Фрост, перевод с англ. В.В. Альтова и А.А. Васильева. – М.: Мир, 1977. – 392 с.
3. Фастовский В.Г. Криогенная техника / В.Г. Фастовский, Ю.В. Петровский, А.Е. Ровинский. – М.: Энергия, 1967. – 415 с.
4. Калинин Э.К., Дрейцер Г.А. и др. Методы сопряженных задач теплообмена. – М.: Машиностроение, 1983. – 232 с.
5. Варгафтик Н.В. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. – М.: Наука, 1972. – 720 с.
6. Кожевников И.Г., Новицкий Л.А. Теплофизические свойства материалов при низких температурах. Справочник / 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1982. – 328 с.

Частично-гомогенное сгорание традиционных и альтернативных топлив в дизелях

Часть 1. Способы гомогенизации сгорания

Р.З. Кавтарадзе, профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана, д.т.н.,
Т.М. Натриашвили, профессор, директор Института механики машин им. Рафаэля Двали (Тбилиси, Грузия), д.т.н.,
М.Г. Плонти, докторант Института механики машин им. Рафаэля Двали (Тбилиси, Грузия),
Э.В. Бахрамов, аспирант МГТУ им. Н.Э. Баумана

Проанализированы факторы, осложняющие применение гомогенного сгорания, и приведен сравнительный анализ различных способов осуществления перспективного процесса частично-гомогенного сгорания, предназначенного для снижения концентрации вредных веществ в продуктах сгорания дизеля. Исследованы способы частичной гомогенизации сгорания, в том числе и разделенное (гомогенно-гетерогенное) сгорание (Split combustion). На основе результатов экспериментальных исследований и 3D-моделирования рабочего процесса для различных вариантов дизелей с частично-гомогенным сгоранием определена стратегия многократного впрыскивания с учетом степени рециркуляции отработавших газов, приводящая к низкотемпературному процессу сгорания и заметному улучшению экологических характеристик дизеля.

Ключевые слова:

дизель, частично-гомогенное сгорание, разделенное (гомогенно-гетерогенное) сгорание, многократное впрыскивание, вредные выбросы.

Введение. Постановка задачи

Перспективное развитие дизелей, не имеющих себе равных по топливной экономичности не только среди поршневых двигателей, но и среди тепловых машин в целом, подразумевает, прежде всего, минимизацию концентраций сажи, оксидов азота NO_x , оксида углерода CO, несгоревших углеводородов CH, а также парникового газа CO_2 в составе отработавших газов путем совершенствования внутрицилиндровых процессов. При этом улучшение экологических

характеристик двигателя должно сопровождаться снижением или (в случае компромиссного решения проблемы) незначительным повышением удельного расхода топлива.

Постепенное ужесточение законодательных норм по ограничению эмиссии указанных вредных веществ (ВВ), а также ограниченные запасы природных топлив способствуют активизации поиска новых усовершенствованных способов сгорания в дизелях. В качестве одной из перспективных возможностей решения данной проблемы рассматриваются

образование и самовоспламенение гомогенной топливовоздушной смеси, то есть реализация так называемого HCCI-процесса (Homogeneous Charge Compression Ignition), или, если говорить коротко, гомогенного сгорания. Подчеркнем, что здесь термин «гомогенное сгорание» подразумевает горение гомогенной топливовоздушной смеси. HCCI-процесс разработан с целью снижения эмиссии твердых частиц, в которых основную долю (>70 %) составляет чистая сажа (углерод) [1], и оксидов азота, обезвреживание которых различными нейтрализаторами по сравнению с СН и СО затруднено и которые создают особую опасность для человека, флоры и фауны.

Неуправляемость процесса сгорания в совокупности с другими факторами, осложняющими осуществление HCCI-процесса на серийных дизелях (см. ниже), привела к разработке так называемого процесса частично-гомогенного сгорания, подразумевающего сначала раннее впрыскивание части цикловой подачи топлива с целью гомогенизации смеси, как в HCCI-процессе, а потом более позднее впрыскивание оставшейся части топлива, как в традиционном дизельном процессе с образованием гетерогенной смеси. В результате процесс сгорания получается частично-гомогенным.

Задача данной работы – сравнительный анализ существующих способов осуществления частично-гомогенного сгорания и исследование его потенциальных возможностей с целью разработки альтернативного процесса разделенного (гомогенно-гетерогенного) сгорания (Split Combustion), обеспечивающего уменьшение концентраций ВВ в продуктах сгорания дизеля.

Способы гомогенизации топливовоздушной смеси в дизелях

Так как в качестве основы процесса гомогенного сгорания заложена

гомогенизация топливовоздушной смеси до ее сгорания, важное значение имеет способ ее гомогенизации. Гомогенизация смеси может быть осуществлена посредством введения топлива (традиционного или альтернативного) во впускной коллектор (внешняя гомогенизация) или непосредственно в цилиндр (внутренняя гомогенизация). Несмотря на то, что по испаряемости дизельное топливо существенно уступает бензину, при непосредственном впрыскивании в цилиндр процессы его нагрева, испарения и образования горючей смеси происходят при высокой температуре (700...900 К), созданной сжатием, и, естественно, протекают быстрее.

При подводе дизельного топлива во впускной коллектор, где температура существенно меньше, чем в цилиндре, требуется установка дополнительной системы смесеобразования, возникает также опасность образования топливной пленки во впускном коллекторе. Впрыскивание паров дизельного топлива во впускной коллектор или в цилиндр способствует их быстрому перемешиванию с воздухом и, конечно, требует затраты энергии на подготовку пара. В связи с этим для развития гомогенного сгорания в дизелях предпочитают внутреннюю гомогенизацию, основанную на одном из следующих способов [2]:

1. Раннее впрыскивание в цилиндр во время впуска и сжатия. Характерны длительная задержка воспламенения, увеличение времени для смесеобразования, опасность смачивания топливом стенок и разбавления им же смазочного масла, повышенная концентрация СН.

2. Позднее впрыскивание в цилиндр, после верхней мертвой точки (ВМТ) во время расширения. Характерны длительная задержка воспламенения (увеличение времени для смесеобразования), неэффективность с термодинамической точки зрения.

3. Многократное за цикл впрыскивание. Приводит к лучшему локальному распределению топлива в камере сгорания (КС) и минимизирует возможности смачивания стенок КС топливом.

4. Использование форсунок с увеличенным числом z сопловых отверстий и с уменьшенными диаметрами d_c (например, $z=40$ и $d_c < 0,1$ мм) или форсунок, имеющих сопловые отверстия с различными проходными сечениями, обеспечивающими образование капель малых размеров, которые быстро испаряются.

5. Применение так называемых вариосопел (нем. Variodüse [2]) с проходными сечениями, изменяющимися в зависимости от нагрузки двигателя, или образование топливного факела с переменной геометрией (Variable Geometry Spray), позволяющей менять угол конусности впрыскивания топлива (УКВТ) на такте сжатия, дают возможность устранить попадание топлива на стенки и управлять моментом самовоспламенения [3, 4].

6. Оптимальное согласование вихревого движения впускного воздуха, числа сопловых отверстий, характеристики впрыскивания и предварительного подогрева воздуха, которые способствуют равномерному распределению и быстрому испарению топлива в цилиндре [5].

Проблемы осуществления гомогенного сгорания в дизелях

В традиционных дизелях, как известно, не ставится задача гомогенизации смеси, скорее наоборот [5]. Осуществление гомогенного сгорания в дизелях затруднено наличием следующих проблем:

1. Начало и протекание сгорания (скорость нарастания давления, продолжительность сгорания и т.п.) управляются не началом впрыскивания, а

состоянием заряда в цилиндре к моменту закрытия впуска и в процессе сжатия, а также составом заряда. Очевидно, что здесь существенную роль могут сыграть изменяющиеся значения температуры впускного воздуха, степени сжатия и степени рециркуляции отработавших газов (РОГ, англ. EGR-Exhaust Gas Recirculation).

2. Вероятность преждевременного воспламенения, особенно в случае применения топлив со склонностью к самовоспламенению (с высокими цетановыми числами), во избежание которого требуется, например, снижение степени сжатия и разбавление впускного заряда продуктами сгорания путем РОГ.

3. Сложность образования оптимального «окна воспламенения», представляющего собой область локальных параметров в КС «коэффициент избытка воздуха α_v – температура T рабочего тела».

4. Сложность получения высокого значения среднего эффективного давления, связанная со сгоранием с высокой скоростью, подобным детонации, а также с необходимостью применения высоких значений степени РОГ или коэффициента избытка воздуха $\alpha_v \gg 1$.

5. Наличие верхней границы частоты вращения коленчатого вала, обусловленной величиной необходимого для качественного смесеобразования (гомогенизация) интервала времени.

6. Вероятность роста эмиссии СН и СО из-за повышения влияния стенки КС (смачивание стенки топливом, гашение пламени стенкой). Кроме того, росту концентрации СН и СО в отработавших газах способствует неполное их догорание, имеющее место в результате снижения температуры в цилиндре. Известное противодействующее мероприятие – установка катализатора-дожигателя – приводит к повышению затрат и требует улучшения условий работы катализатора, в частности, повышения сниженной

из-за разбавления температуры выпускных газов.

7. Необходимость предотвращения смачивания стенки топливом, особенно при подводе топлива во впускной коллектор или при раннем впрыскивании в цилиндр в ходе впуска или сжатия.

8. Из-за снижения степени сжатия (к чему, как уже было отмечено, прибегают в целях предотвращения преждевременного воспламенения) усложняется холодный пуск, для облегчения которого можно, например, использовать двукратное (пилотное) или многократное впрыскивание.

9. Трудности управления протеканием процесса на переходных режимах работы двигателя и расширения диапазона режимов частичной нагрузки с гомогенным сгоранием.

Очевидно, что указанные проблемы, особенно проблема управления процессом гомогенного сгорания в дизелях, не могут быть решены без значительного увеличения (по сравнению с традиционным дизелем) необходимых затрат на создание дизелей с гомогенным сгоранием. В связи с этим из практических соображений возникает вопрос оптимизации степени гомогенизации заряда в цилиндре по эмиссии оксидов азота и сажи, а также по расходу топлива для всего диапазона режимов работы двигателя путем регулирования процессов впрыскивания топлива, РОГ (внешней и внутренней) и наддува (давление и температура наддувочного воздуха). При соблюдении названных границ по возможности в широком диапазоне частичных нагрузок и частот вращения можно добиться довольно полной гомогенизации смеси и обеспечить оптимальную степень гомогенизации (частичную гомогенизацию) в зависимости от режима работы двигателя. Очевидно, что частичная гомогенизация расширяет диапазоны изменения среднего эффективного давления, частоты вращения коленчатого вала и бездетонационно-подобного сгорания.

Рециркуляция отработавших газов

Отличают два вида рециркуляции: внутреннюю и внешнюю [2]. При внутренней рециркуляции отработавших газов происходит регулирование количества остаточных от предыдущего цикла газов в цилиндрах двигателя путем изменения фаз газораспределения, то есть изменением моментов открытия и закрытия впускных и выпускных клапанов. При этом во время перекрытия фаз газораспределения создаются условия для поступления отработавших газов из выпускных каналов во впускные, то есть в период одновременного открытия впускного и выпускного клапанов. При этом количество рециркулируемых газов зависит главным образом от продолжительности перекрытия фаз. Для этого впускные клапаны должны открываться задолго до верхней мертвой точки, а выпускные – закрываться непосредственно перед верхней мертвой точкой. В результате оба клапана остаются открытыми одновременно, и отработавшие газы перетекают во впускные каналы. К преимуществам внутренней рециркуляции отработавших газов по сравнению с внешней рециркуляцией относятся ускоренная реакция системы и повышенная равномерность распределения рециркулируемых газов по цилиндрам.

Система внешней рециркуляции подразумевает перепуск части отработавших газов из выпускной системы во впускной трубопровод. После этого они, смешиваясь с воздухом (при внутреннем смесеобразовании) или топливовоздушной смесью (в двигателях с внешним смесеобразованием), повторно участвуют в горении. Отметим, что в случае бензиновых двигателей обычно применяется внутренняя рециркуляция отработавших газов для того, чтобы ускорить воспламенение детонационно-стойких топлив. В дизелях идут путем

рециркуляции охлажденных отработавших газов, чтобы замедлить химические реакции, при этом снижением температуры противодействуют высокой воспламеняемости дизельного топлива.

Разработанный в [6-8] частично-гомогенный процесс сгорания подразумевает регулирование момента начала и продолжительности сгорания путем РОГ. Так как отработавшие газы содержат после процесса сгорания очень мало кислорода, максимальные температура и давление при сгорании топлива снижаются, что приводит к сокращению выброса оксидов азота. Снижение температуры в цилиндре достигается благодаря более высокой теплоемкости отработавших инертных газов (в основном CO_2), которые не участвуют в реакции. Количество отработавших газов, участвовавших в рециркуляции, может достигать 20...50 % и более от общего расхода газа, при этом содержание оксидов азота снижается примерно до 60 %. Однако верхний предел степени РОГ ограничен увеличением выбросов углеводородов и расхода топлива, а также повышением неравномерности работы двигателя. На режиме холостого хода система рециркуляции выключается, так как образование оксидов азота на этом режиме незначительно. На режимах полных нагрузок или близких к ним рециркуляция осуществляется за относительно короткое время, а в режиме частичных нагрузок наоборот – за более длительное время, и эффективность действия системы на этом режиме наивысшая.

Способы осуществления частично-гомогенного сгорания

Большинство используемых концепций HCCI-процесса относится к категории так называемого Low Temperature Combustion (LTC) – низкотемпературное сгорание заранее перемешанной и гомогенизированной смеси.

В настоящее время разработаны различные варианты частично-гомогенного сгорания, среди которых следует выделить процесс, управляемый разбавлением впускного заряда отработавшими газами – DCCS (Dilution Controlled Combustion System), разработанный фирмой Toyota [2]. Его применение в дизелях предусматривает очень высокую степень РОГ (до 75 %). В результате такого сильного разбавления впускного заряда инертными продуктами сгорания температура рабочего тела снижается ниже порога, необходимого для образования NO_x и сажи. Среднее эффективное давление при высоких нагрузках достигает почти 1 МПа при очень низких эмиссиях NO_x и сажи. Эмиссия СН заметно растет, индикаторный КПД существенно уменьшается.

Другой процесс частично-гомогенного сгорания МК (Modulated Kinetics), предложенный фирмой Nissan [2], подразумевает частичную гомогенизацию путем позднего (после ВМТ) впрыскивания топлива. Увеличение периода задержки воспламенения из-за снижения температуры рабочего тела обеспечивается степенью РОГ $z=40$ %. Для предотвращения образования сажи важно четко отделять друг от друга по времени процессы впрыскивания и сгорания топлива. Достигается среднее индикаторное давление $\sim 0,8$ МПа. Оно ограничено увеличением температуры в цилиндре и одновременным сокращением задержки воспламенения, которые имеют место при росте мощности (то есть при росте продолжительности впрыскивания). КПД, а также эмиссии СН и СО примерно такие же, как у обычного дизеля. Этот способ известен также как HPLI-процесс (Highly Premixed Late Injection).

HCLI (Homogeneous Charge Late Injection) – этот процесс объединяет характерные свойства частичной гомогенизации и высокой степени РОГ, а также подразумевает позднее впрыскивание. Интервал времени между

окончанием впрыскивания и началом сгорания значительно больше, чем в HPLI-процессе. Это может избавить от образования сажи при очень низких уровнях эмиссии NO_x , сохранив КПД двигателя на уровне обычного дизеля. Среднее индикаторное давление может превышать 0,6 МПа, а эмиссия СН и СО получается примерно такая же, как и у современных бензиновых двигателей с непосредственным впрыскиванием.

В зависимости от стратегии впрыскивания топлива частично-гомогенные процессы сгорания классифицируются следующим образом [9]:

1. С поздним впрыскиванием, когда угол опережения впрыскивания топлива $\varphi_{\text{впр}} = 10 \dots 40^\circ$. Реализуется HCLI-процесс.

2. С поздним впрыскиванием, когда угол опережения впрыскивания топлива $\varphi_{\text{впр}} < 10^\circ$. Осуществляется HPLI-процесс.

Фирма Daimler AG запатентовала процесс частично-гомогенного сгорания, который предусматривает применение тарельчатой формы камеры в поршне [10]. С помощью форсунки с сопловыми отверстиями, обеспечивающими угол раскрытия топливного факела 90° , в период раннего внутреннего смесеобразования предотвращается попадание топлива на стенки, а специальная форма камеры способствует улучшению гомогенного распределения топлива. Аналогичный подход используется при осуществлении так называемого NADI-процесса (Narrow Angel Direct Injection) [11].

Концепция процесса сгорания с частичным предварительным перемешиванием смеси, названного PPC (Partially Premixed Combustion), представляет собой частный случай низкотемпературного сгорания (LTC-процесс). Снижение локальных температур в цилиндре достигается в результате предварительной частичной гомогенизации горючей смеси, осуществленной с помощью управляемого многократного впрыскивания в сочетании с РОГ. При этом

характеристика впрыскивания и степень РОГ подбираются таким образом, чтобы время задержки воспламенения было вполне достаточно для обеспечения качественного перемешивания топлива с воздухом до начала воспламенения, и процесс сгорания становился управляемым [4, 12].

Разделить процесс сгорания на две фазы с промежутком времени так, чтобы первая (предварительная) из них была гомогенной, а вторая (заключительная) – гетерогенной, и осуществить так называемое «разделенное сгорание» (Split Combustion, или коротко SC-процесс) возможно разными способами. В [13] для этого в цилиндре были установлены три форсунки с различными СР-давлениями впрыскивания. При этом одна форсунка была приспособлена к геометрической форме КС, а другие две имели специальные распылители с микросопловыми отверстиями (Micro-hole-nozzles), обеспечивающие высокую мелкость распыливания. В [7] SC-процесс был осуществлен путем пятикратного впрыскивания за рабочий цикл. При этом первые четыре порции впрыскиваются очень рано – начало впрыскивания первой дозы 75° угла поворота коленчатого вала (УПКВ) до ВМТ – и обеспечивают гомогенное сгорание, после окончания которого впрыскивается основная доза топлива (50 % цикловой подачи). Она воспламеняется после ВМТ и приводит к гетерогенному сгоранию.

Следует подчеркнуть, что разделенное сгорание (Split Combustion) находит применение с целью расширения нагрузочных режимов в сторону высоких нагрузок [7]. При объединении в одном цикле процессов гомогенного и гетерогенного сгорания способ гомогенизации (внутренняя или внешняя гомогенизация) не играет решающей роли. Тем ни менее преимущество имеет внутренняя гомогенизация, так как при ней может быть использована та же самая

топливная аппаратура, что и для гетерогенного сгорания. Например, известен PREDIC-процесс, аналогичный SC-процессу, идея которого заключается в дополнительном впрыскивании топлива после окончания гомогенного сгорания с помощью форсунки, расположенной центрально в камере [14]. Тем самым вновь начавшийся процесс сгорания имеет уже гетерогенный характер и продолжается в такте расширения. Однако в результате такого изменения процесса сгорания расход топлива может ухудшаться.

Как видно из краткого анализа, наиболее известные на сегодня способы осуществления частично-гомогенного сгорания отличаются, в основном, моментом начала и кратностью впрыскивания, способом гомогенизации (внутренняя или внешняя), степенью РОГ, а также расположением на временной оси рабочего цикла гомогенного и гетерогенного сгораний. Оптимальное сочетание этих факторов может меняться не только в зависимости от режима работы двигателя, но и от вида используемого топлива. Следует заметить, что некоторые названия способов осуществления частично-гомогенного сгорания, введенные отдельными авторами, не отличаются четкостью и по содержанию даже повторяют друг друга.

Частично-гомогенное сгорание традиционного дизельного топлива

При использовании рециркуляции охлажденных отработавших газов химические реакции горения замедляются, температура в цилиндре снижается, что противодействует высокой воспламеняемости дизельного топлива. Такой подход применяется в [15] с целью расширения диапазона нагрузочных режимов двигателя с гомогенным сгоранием. Из-за небольшой доли гомогенной

смеси отказываются от РОГ, и расширение диапазона режимов работы двигателя достигается увеличением расхода топлива. При этом эмиссия оксидов азота и сажи повышается по сравнению с чисто гомогенным сгоранием несущественно, но остается явно ниже по сравнению с чисто гетерогенным сгоранием. Достигается также снижение выбросов СН и СО по сравнению с гомогенным сгоранием.

В [16] разработан частично-гомогенный процесс сгорания с оптимальным сочетанием конструктивных и регулировочных параметров двигателя (интенсивность вихревого движения впускного воздуха, характеристика впрыскивания топлива, степень РОГ, степень сжатия, число сопловых отверстий форсунки), позволяющий практически полностью блокировать образование оксидов азота и существенно снизить выброс сажи. Важно, что при этом было достигнуто улучшение эффективных показателей дизеля.

В исследованиях [17, 18] традиционный дизельный гетерогенный процесс сгорания заменяется альтернативным частично-гомогенным процессом, осуществляемым посредством многократного за цикл впрыскивания топлива. В результате исследования различных вариантов пятикратного впрыскивания топлива разработан частично-гомогенный процесс сгорания, позволяющий уменьшить концентрацию оксидов азота почти в 1,8 раза и снизить интенсивность образования сажи. Определены оптимальные характеристики впрыскивания топлива, приводящие к частично-гомогенному сгоранию на режиме неполной нагрузки. Установлено, что альтернативный процесс частично-гомогенного сгорания, оптимизированный на режимах неполной нагрузки, целесообразно совместить с традиционным дизельным гетерогенным сгоранием на номинальном режиме работы двигателя.

Частично-гомогенное сгорание альтернативных топлив

44

Очевидно, что многие альтернативные топлива, особенно газообразные и спирты, лучше, чем дизельное топливо, подходят для образования гомогенной смеси.

В работе [19] приведены результаты исследования HCCI-процесса на дизеле с высокой степенью сжатия ($\epsilon=18,2$), работающем на н-бутаноле. Заметим, что н-бутанол (н-бутиловый спирт) C_4H_9OH , представитель одноатомных спиртов (формула $C_4H_{10}O$), имеет температуру кипения $117,7\text{ }^\circ\text{C}$ и температуру самовоспламенения $345\text{ }^\circ\text{C}$. Незначительная модификация двигателя была проведена для осуществления впрыскивания н-бутанола. Все остальные узлы и детали дизеля в целом были сохранены без изменения. Экспериментальные исследования показали, что гомогенизация смеси посредством раннего впрыскивания н-бутанола при работе на бедной смеси приводит к почти нулевой дымности отработавших газов и крайне низкой эмиссии оксидов азота даже при отсутствии РОГ. Выполненные экспериментальные исследования выявили также проблемы управления гомогенным сгоранием спиртового топлива.

Целью работы [20] являлось одновременное сокращение эмиссии NO_x и дымности (сажа) без существенного снижения эффективных показателей быстроходного дизеля с непосредственным впрыскиванием, газотурбинным наддувом, водяным охлаждением и CR-системой топливоподачи, работающего на смеси н-бутанол/дизельное топливо. Добавление н-бутанола к дизельному топливу с низким цетановым числом повышает температуру самовоспламенения и снижает вероятность преждевременного воспламенения. Установлено, что горение смеси н-бутанол/дизельное топливо с объемным содержанием н-бутанола

20 и 40 % уменьшает эмиссию вредных веществ при несущественном повышении расхода топлива.

В работе [21] для осуществления HCCI-процесса использовались такие альтернативные топлива, как биогаз и водород, которые по сравнению с традиционным дизельным топливом имеют высокие температуры воспламенения и поэтому менее склонны к преждевременному воспламенению. Кроме того, газообразное топливо быстрее, без особой задержки образует качественную гомогенную смесь. Это способствует снижению эмиссии несгоревших углеводородов CH и сажи. HCCI-процесс в дизеле, работающем на биогазе, названный как BDHCCI-процесс (Biogas Diesel HCCI), существенно зависит от характеристики впрыскивания. В частности, установлено, что двукратное впрыскивание биогаза по сравнению с однократным способствует гомогенизации смеси и улучшает экологические показатели двигателя. Были также исследованы двухтопливные режимы работы для различных соотношений биогаза и дизельного топлива.

В [22, 23] впервые в трехмерной постановке было проведено детальное исследование влияния частичной гомогенизации смеси на образование оксидов азота в камере сгорания дизеля с непосредственным впрыскиванием газообразного водорода. Частичная гомогенизация водородно-воздушной смеси при позднем впрыскивании достигается увеличением числа сопловых отверстий водородной форсунки, а также повышением интенсивности вихревого движения заряда в цилиндре.

Адекватность результатов моделирования оценивается путем сопоставления с экспериментальными данными. Определены оптимальные конструктивные параметры водородной форсунки, обеспечивающие минимизацию эмиссии оксидов азота. Установлено, что частично-гомогенное сгорание в водородном

дизеле имеет особенности, в частности, повышение интенсивности вихревого движения воздуха, генерированного во впускной канал, приводит к росту задержки воспламенения и затягиванию процесса горения водорода с заметным смещением максимума скорости тепловыделения подальше от ВМТ [24]. Это объясняется тем, что увеличение интенсивности вихревого движения впускного воздуха в цилиндре в момент впрыскивания газообразного водорода усиливает перемешивание водорода с воздухом. В результате уже в начале подачи водорода так разбавляется воздухом, что его концентрация даже в локальных зонах оказывается ниже пределов воспламенения (то есть меньше 4 % по объему). Самовоспламенение достигается позже, когда в цилиндре оказывается необходимая для самовоспламенения концентрация водорода.

Совершенствование процесса смеобразования, связанное с ростом интенсивности вихревого движения, способствует гомогенизации водородно-воздушной смеси и обуславливает снижение общего уровня локальных температур в цилиндре водородного дизеля, что в результате уменьшает концентрацию оксидов азота в продуктах сгорания водородного дизеля. Кроме того, затянутый процесс преобразования энергии приводит к снижению скорости нарастания давления и уровня шума водородного дизеля. Следует подчеркнуть, что вопреки ожиданиям увеличение интенсивности вихря в цилиндре водородного дизеля не приводит к улучшению эффективных показателей двигателя.

Сравнительный анализ концепций частично-гомогенного сгорания в дизелях на примере экспериментального двигателя

Ниже проанализированы результаты исследования различных концепций процесса сгорания частично гомогенизированных смесей как традиционного (дизельный), так и альтернативного топлива (н-бутан) с воздухом. Детальные экспериментальные исследования рабочих процессов, основанных на этих концепциях, были проведены авторами работ [6-8]. Результаты этих экспериментов были использованы авторами данной работы для разработки и верификации 3D-модели рабочего тела, реализованной с применением CRFD-кода AVL FIRE [25].

Следует отметить, что исследования опирались на концепции раннего впрыскивания и проводились в стендовых условиях на одноцилиндровом отсеке четырехтактного двигателя OM 500 (Daimler-Benz) [7, 8], основные характеристики которого даны в табл. 1.

Анализ рабочего процесса дизеля OM 500 (Daimler-Benz) проводился для различных концепций осуществления процесса сгорания:

1. Традиционный (серийный) дизель с разделенным (двукратным) впрыскиванием и гетерогенным сгоранием.
2. Дизель с многократным (пятикратным за цикл) впрыскиванием и частично-гомогенным сгоранием.
3. Дизель, конвертированный на бутан, с впрыскиванием в процессе впуска, обеспечивающий почти идеальное гомогенное сгорание бутановоздушной смеси.

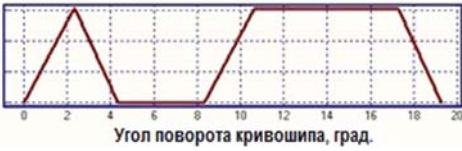
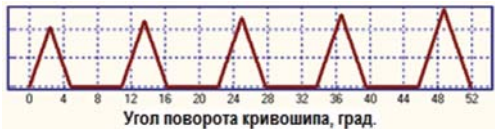

Таблица 1

Параметры опытного двигателя OM 500 (Daimler-Benz)

| Модель двигателя | OM 500 |
|--|---------|
| Диаметр цилиндра / ход поршня, D/S , мм/мм | 130/150 |
| Степень сжатия, ϵ | 14,7 |
| Число клапанов на цилиндр | 4 |
| Система впрыскивания | CR |

Исследуемые варианты рабочего процесса

46

| № | Характеристика впрыскивания с указанием количества топлива в долях от цикловой подачи $m_{ц}$ |
|---|--|
| 1 |  <p>Традиционный (серийный) дизельный процесс с гетерогенным сгоранием, предусматривающий разделенное двукратное (предварительное + основное) впрыскивание. При этом двукратное впрыскивание осуществляется с промежуточным интервалом 4° УПКВ и общей продолжительностью впрыскивания 19° УПКВ. Угол конусности впрыскивания топлива (УКВТ), т.е. угол между осями цилиндра и соплового отверстия, равен 160°, а максимальное давление впрыскивания составляет $p_{впр}=160$ МПа. Распределение цикловой подачи топлива (в долях) $\bar{m}_{ц}=0,2+0,8=1,0$. Без РОГ.</p> |
| 2 |  <p>Многократное впрыскивание, приводящее к частично-гомогенному сгоранию, экспериментально исследованное в [7, 8]. Все дозы разделенной подачи топлива впрыскиваются до ВМТ, угол опережения впрыскивания первой порции составляет 79° УПКВ. При этом вся цикловая масса топлива подается в цилиндр за 27° УПКВ до ВМТ. УКВТ равен 160°. Максимальное давление впрыскивания $p_{впр}=160$ МПа. В результате пятикратного впрыскивания цикловая доза топлива распределяется по долям $\bar{m}_{ц}=0,15+0,18+0,20+0,22+0,25=1$. Интервал времени между отдельными впрыскиваниями соответствует 60° УПКВ. Используется РОГ ($z=61$ %).</p> |
| 3 | <p>Идеально гомогенный процесс с подачей во впускной коллектор альтернативного топлива – бутана. Гомогенизация воздушно-бутановой смеси начинается еще во впускном тракте и продолжается в цилиндре в процессах наполнения и сжатия так, что к моменту воспламенения от сжатия значения локальных коэффициентов избытка воздуха $\alpha_{ви}$ совпадают с величиной его среднего значения $\alpha_{ви}^{\Sigma}$, т.е. $\alpha_{ви} = \alpha_{ви}^{\Sigma}$. В связи с этим такой процесс назван идеально гомогенным процессом [7, 8]. Температура самовоспламенения бутана в воздухе в атмосферных условиях 365 °С (у дизельного топлива 250 °С), концентрационные (объемные) пределы воспламенения бутана 2...9 %. РОГ ($z=37$ %).</p> |
| 4 |  <p>Гомогенно-гетерогенное или разделенное сгорание (Split combustion), при котором раннее последовательное впрыскивание первых четырех одинаковых порций топлива, начатое при $\varphi=75^\circ$ УПКВ до ВМТ, обеспечивает гомогенизацию топливовоздушной смеси. Угол конусности впрыскивания топлива равен 160°. Максимальное давление впрыскивания $p_{впр}=160$ МПа. Как и в случае варианта № 2, импульс струй топлива и продолжительность впрыскивания рассчитаны так, что топливо на поверхность стенки практически не попадает. После окончания гомогенного сгорания первых четырех порций топлива при $\varphi=20^\circ$ УПКВ после ВМТ впрыскивается пятая заключительная порция, инициирующая гетерогенное сгорание. Цикловая подача топлива делится пополам – 50 % на гомогенное сгорание (первые четыре впрыскивания) и 50 % на гетерогенное сгорание (пятое заключительное впрыскивание) и распределяется по долям $\bar{m}_{ц} = 0,125+0,125+0,125+0,125+0,5=1,0$. Без РОГ.</p> |

4. Дизель с разделенным (гомогенно-гетерогенным) сгоранием (Split Combustion), реализованным путем пятикратного впрыскивания.

В табл. 2 приведены краткие характеристики подачи топлива исследуемых концепций, используемые в качестве исходных данных при проведении численных экспериментов по исследованию образования ВВ в процессе сгорания.

Условием сравнения экологических

показателей рабочего цикла традиционного (серийный) дизеля и альтернативных рабочих циклов с различными концепциями гомогенного сгорания является равенство среднего индикаторного давления и частоты вращения коленчатого вала. В табл. 3 приведены параметры двигателя для различных вариантов процесса сгорания. Эти параметры обеспечивают условия сравнения $n=1100 \text{ мин}^{-1}=\text{idem}$ и $p_z=0,6 \text{ МПа}=\text{idem}$ для исследуемых процессов.

Таблица 3

Исходные данные для моделирования и сравнительного анализа исследуемых рабочих процессов

| Параметры двигателя | Традиционный дизельный процесс | Частично-гомогенное сгорание путем многократного впрыскивания | Идеальная гомогенизация путем подачи бутана во впускной коллектор | Гомогенно-гетерогенное сгорание (Split Combustion) |
|--|--------------------------------|---|---|--|
| Частота вращения коленчатого вала, n , мин^{-1} | 1100 | 1100 | 1100 | 1100 |
| Давление наддува, p_k , бар | 1,46 | 1,46 | 1,46 | 1,5 |
| Температура впуска, t_k , °C | 42 | 35 | 65 | 41 |
| Коэффициент избытка воздуха, α_v | 3,17 | 1,1 | 2,07 | 2,77 |
| Степень РОГ, z , % | 0 | 61 | 37 | 0 |
| Максимальное давление впрыскивания, p_z , бар | 1600 | 1600 | – | 1600 |
| Кратность впрыскивания топлива в КС за цикл | 2 | 5 | – | 5 |
| Среднее индикаторное давление, p_i , бар | 6 | 6 | 6 | 6 |

Влияние исследуемых концепций осуществления рабочего процесса на эмиссии отдельных ВВ, нормированных законодательством, приведено на рис. 1-4. При этом на рис. 1 приведена диаграмма изменения концентрации

сажи в зависимости от исследуемых концепций рабочего процесса, полученная путем пересчета данных измерения дымности Bh продуктов сгорания по шкале Бош [7, 8] по эмпирической формуле, предложенной А.С. Alkidas [26]:

$$[C_{part}] = 565 \left[\ln \frac{10}{10 - Bh} \right]^{1,206}, \text{ [мг/м}^3\text{]}. \quad (1)$$



Рис. 1. Изменение концентрации сажи (мг/м³) в зависимости от концепции рабочего процесса, полученное по результатам обработки экспериментальных данных из [7, 8]



Рис. 2. Изменение концентрации оксидов азота (ppm) в зависимости от концепции рабочего процесса



Рис. 3. Изменение концентрации CH (ppm) в зависимости от концепции рабочего процесса



Рис. 4. Изменение концентрации CO (ppm) в зависимости от концепции рабочего процесса

Как видно, наименьшие значения эмиссии сажи (рис. 1) и оксидов азота NO_x (рис. 2) получаются при реализации процессов с идеальной гомогенизацией (вариант № 3, см. табл. 2 и 3), достигнутой при внешнем смесеобразовании бутановоздушной смеси, и частичной гомогенизацией смеси дизельного топлива с воздухом (вариант № 2, см. табл. 2 и 3), осуществленной путем пятикратного впрыскивания. Нулевое значение концентрации сажи в случае этих концепций, конечно, следует рассматривать с учетом точностей определения дымности при экспериментах [7, 8] и расчета концентрации сажи по эмпирической формуле (1). Тем не менее можно сделать некоторые выводы. Прежде всего, заметно существенное сокращение оксидов азота: эмиссия NO_x в частично-гомогенном процессе с многократным впрыскиванием (вариант № 2, см. табл. 2 и 3) составляет 15 ppm (или приблизительно 0,03 [г/(кВт·ч)]), что почти в 66 раз меньше по сравнению с выбросами NO_x при реализации гетерогенного (традиционный дизельный) процесса (вариант № 1, см. табл. 2 и 3).

Замечательные показатели по эмиссиям оксидов азота и сажи, полученные в случае многократного впрыскивания, ненамного уступают результатам, полученным при идеальной гомогенизации смеси (рис. 1 и 2). По результатам оптического исследования процесса многократного впрыскивания, проведенного на специальной камере в условиях давления и температуры, приближенным к условиям на реальном двигателе [7, 8], было установлено, что не следует стремиться к идеальной гомогенизации смеси для всего объема КС. Лучше, когда в центральной части КС образуется облако гомогенной смеси, а другая часть смеси удерживается в надпоршневом объеме (то есть в объеме вытеснения). Увеличение количества впрыскиваний

(больше пяти) не приводит к заметному улучшению процесса гомогенного сгорания [7, 8, 17, 18]. Как видно, в случае правильной организации рабочего процесса с многократным впрыскиванием можно добиться частичной гомогенизации смеси, приводящей к одновременному снижению эмиссии сажи и оксидов азота до уровней, почти соответствующих идеальной гомогенизации (рис. 1 и 2).

С другой стороны, при многократном впрыскивании трудно избежать попадания части топлива в относительно холодные пристеночные зоны КС. Заметим, что при исследуемом процессе пятикратного впрыскивания угол опережения впрыскивания первой порции составляет 79° УПКВ, а вся цикловая масса топлива подается в цилиндр за 27° УПКВ до ВМТ (см. вариант № 2 в табл. 2), то есть частичная гомогенизация смеси достигается в результате ранней подачи топлива и предварительного перемешивания топлива с находившимся в цилиндре воздухом. Очевидно, что этот процесс относится к РРС-процессу, рассмотренному выше.

Длительный период задержки воспламенения после впрыскивания первой дозы топлива, обеспечивающий хорошую гомогенизацию смеси до начала сгорания и свойственный РРС-процессу, имеет также нежелательное последствие – соударение топливного факела со стенками гильзы цилиндра из-за раннего впрыскивания, когда поршень находится далеко от ВМТ. Очевидно, что здесь заметную роль может сыграть такая характеристика распылителя форсунки, как УКВТ, а также момент начала впрыскивания первой дозы топлива, точнее соответствующее этому моменту положение поршня. Попадание топлива в пристеночную зону гильзы приводит к существенному (по сравнению с традиционным дизелем) повышению эмиссии СН (см. рис. 3), разжижению смазочного масла [6-8] и способствует неполноте

сгорания, сопровождающейся повышением эмиссии CO и расхода топлива (см. рис. 4).

Таким образом, экспериментальные исследования (см. рис. 3) показывают, что гомогенизация процесса сгорания является эффективным способом одновременного уменьшения эмиссии NO_x и твердых частиц сажи. Однако из-за снижения локальных температур в процессе сгорания она может привести к увеличению выбросов CO – в случае дизельной гомогенизации путем многократного впрыскивания (см. вариант № 2 в табл. 2) – и к увеличению выбросов CH – в случае как дизельной (см. вариант № 2), так и идеальной (см. вариант № 3) гомогенизации. Правда, CO и CH по сравнению с оксидами азота и сажей считаются менее опасными и могут быть существенно сокращены с помощью обычных катализаторов окисления.

Минимальные концентрации CH и CO в выпускных газах наблюдаются в традиционном дизельном процессе (см. вариант № 1). В процессе с разделенным гомогенно-гетерогенным сгоранием (Split combustion, см. вариант № 4) они повышаются, правда, не так стремительно, как в процессах с идеальной (№ 3) и дизельной (№ 2)

гомогенизацией. Увеличение выбросов CH и CO при повышенном уровне гомогенизации смеси обусловлено снижением локальных температур в объеме камеры сгорания, значения которых в традиционном дизельном процессе (№ 1), где сгорание носит ярко выраженный гетерогенный характер, значительно выше.

Кроме того, следует иметь в виду, что в случае традиционного дизельного (№ 1) и гомогенно-гетерогенного (№ 4) процессов отсутствовала рециркуляция отработавших газов (см. табл. 2). Умеренные выбросы CO и CH зафиксированы в идеально гомогенном процессе (№ 3) несмотря на то, что в данном случае степень рециркуляции отработавших газов составляла 37 %. Максимальные выбросы CO и CH получились при реализации HCCI-процесса с многократным впрыскиванием (№ 2). Например, выбросы CO в 183 раза больше аналогичных выбросов в традиционном дизельном процессе, а выбросы CH больше в 38 раз, что объясняется наличием ROG.

Работа выполнена в рамках проекта FR/241/3-170/14.

Окончание в следующем номере.

Литература

1. Кавтарадзе Р.З. Теория поршневых двигателей. Специальные главы. 2-е издание. – М.: изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2016. – 590 с.
2. Basshuesen R., Schäfer F. Handbuch. Verbrennungsmotor. 4. Aufgabe. – Wiesbaden: Vieweg & Sohn Verlag, 2007. – 1032 s.
3. Ra Y., Reitz R.D. The Use of Variable Geometry Sprays with Low Pressure Injection for Optimization of Diesel HCCI-Engine Combustion. – SAE, 2005-01-0148.
4. Исследование горения в дизеле (материалы конгресса CIMAC-2013) // Двигателестроение. – 2016. – №1. – С. 45-57.
5. Kavtaradze R.Z., Natriashvili T.M., Zelentsov A.A. Ignition Delay and Emission of the Noxious Substances in Double-Fuel Engines Working on the natural Gas and Syngases // Chapter 15 (p. 109-120) in the Book: Innovative Methods for Improvement of Technical, Economic and Ecological Efficiency of Motor Cars (ISBN:978-1-63463-671-1). – New-York: NOVA-Publishers, 2015. – 138 p.

6. Wesslau M., Bargende M., Haas S., Boulouchos K., Barroso G., Escher A. Homogene Dieselerbrennung – Verfahren zur Emissionsreduzierung. Teil 1: Untersuchungen am Pkw-Dieselmotor // MTZ. – 2006. – № 10. – S. 798-805.
7. Müller E., Weiskirch Ch., Bach E., Emmrich Th., Bach E., Schneemann A. Homogene Dieselerbrennung – Verfahren zur Emissionsreduzierung. Teil 2: Untersuchungen am Nfz-Motor // MTZ. – 2006. – № 11. – S. 906-917.
8. Schneemann A., Emmrich Th., Bach E. Oberflächentemperaturmessung und lokale Wärmeübergang // Informationstagung Motoren. Herbst 2006, Würzburg. Heft R 535 (2006). – S. 281-305.
9. Henle A. Entkopplung von Gemischbildung und Verbrennung bei einem Dieselmotor: Dissertation. – München, 2006. – 193 s.
10. König, G., Raab, A. Brennraum einer selbst zündenden Brennkraftmaschine Stuttgart, DaimlerChrysler AG, Patentschrift WO/2006/058640 (2006).
11. Gatellier, B., Ranini, A., Castagné, M. New developments of the NADI concept to improve operating range, exhaust emissions and noise In: Oil & Gas Science and Technology // Rev. IFP. – 2006. – Vol. 61. – Nr. 1. – S. 7-23.
12. Lewander M., Jojansson B., Tunestal P., Keeler T., Tullis S., Milovanovich N. Evaluation of the Operating Range of Partially Premixed Combustion in a multi Cylinder Heavy Duty Engine with Extensive EGR. – SAE. 2009-01-1127.
13. Hashizume T., Myamoto T., Akagawa H., Tsujimura K. Combustion and Emission Characteristics of Multiple Stage Diesel Combustion. – SAE Paper 980505, 1998.
14. Shimazaki, N., Akagawa, H., Tsujimura, K. An experimental study of premixed lean diesel combustion. – SAE-paper 1999-01-0181.
15. Weiskirch, C. Reduktion von NO_x - und Partikelemissionen durch (teil-) homogene Dieselmotorenverfahren. – Braunschweig, Technische Universität, Dissertation (2007).
16. Кавтарадзе Р.З., Сергеев С.С. Новый альтернативный (частично-гомогенный) процесс сгорания как способ снижения концентраций оксидов азота и сажи в продуктах сгорания дизеля // РАН. Теплофизика высоких температур. – 2014. – Т. 52. – № 2. – С. 294-309.
17. Кавтарадзе Р.З., Зиновьев И.А. Влияние частичной гомогенизации процесса сгорания на экологические показатели дизеля // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. «Машиностроение». – 2016. – № 4. – С. 113-127.
18. Кавтарадзе Р.З., Онищенко Д.О., Зиновьев И.А., Голосов А.С. Влияние альтернативного процесса впрыскивания топлива на локальные образования оксидов азота и сажи в камере сгорания дизеля // Известия РАН. Энергетика. – 2016. – № 5. – С. 152-159.
19. Han X., Wang M., Zheng M. An Enabling Study of Neat n-Butanol HCCI Combustion on a High Compression-ratio Diesel Engine. – SAE Technical Paper. 2015-01-0001.
20. Valentino G., Corcione F.E., Iannuzzi S.E., Serra S. Experimental study on performance and emissions of a high speed diesel engine fuelled with n-butanol/diesel blends under premixed low temperature combustion // Fuel. – 2012. – 92(1). – Pp. 295-307.
21. Rahman A., Ramesh A. Effect of Split Injection on Combustion and Performance of a Biogas-Diesel Fueled PPCI Engine. – SAE Technical Paper, 2015-24-2453.
22. Кавтарадзе Р.З. Улучшение экологических показателей водородного дизеля с непосредственным впрыскиванием газообразного водорода // РАН. Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2016. – Т. 45. – № 4. – С. 20-29.
23. Кавтарадзе Р.З., Краснов В.М. Влияние частичной гомогенизации смеси на образование оксидов азота в камере сгорания водородного дизеля // Транспорт на альтернативном топливе. – 2016. – № 2 (50). – С. 50-56.

24. Кавтарадзе Р.З. Теплофизические процессы в дизелях, конвертированных на природный газ и водород. – М.: изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. – 238 с.
25. FIRE. Users Manual // AVL List GmbH. – Graz (Austria), 2017.
26. Alkidas A.C. Relationships between smoke measurements and particulate measurements // SAE Technical Paper 840412. – 1984. – 9 p.
27. Кавтарадзе Р.З., Онищенко Д.О., Зеленцов А.А. Трехмерное моделирование нестационарных теплофизических процессов в поршневых двигателях. – М.: изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012. – 85 с.
28. Kavtaradze R., Natriashvili T., Zelentsov A., Glonti M. Lokal heat exchange in combustion chamber and the intensive heat state of the diesel piston, converted into the two-fuel engine // International Scientific Journal IFToMM «Problems of Mechanics». – 2013. – № 1 (52). – Pp. 55-61.
29. Kavtaradze R.Z., Zelentcov A.A., Onishchenko D.O., Skripnik A.A. Simulation of Local Heat Transfer in Combustion Chamber of Aircraft Piston Engine / Proceedings AVL International Simulation Conference 2017, June 27–29, Austria, Graz. – 2017. – Pp. 1-7.
30. Chang J., Güralp O., Filipi Z., Assanis D., Kuo T.W., Najt P., Rask R. New Heat Transfer Correlation for an HCCI Engine Derived from Measurements of Instantaneous Surface Heat Flux // SAE Technical Paper 2004-01-2996. – 18 p.
31. Reitz R.D., Duraisamy G. Review of high efficiency and clean reactivity controlled compressionignition (RCCI) combustion in internal combustion engines // Progress in Energy and Combustion Science. – 2015. – V. 46. – Pp. 12-71.
32. Reitz R.D. Das Diesel-Dilemma // MTZ. – 2016. – № 3. – S. 90.

Требования по подготовке статей к опубликованию в журнале

В связи с тем, что Международный научно-технический журнал Национальной газомоторной ассоциации «Транспорт на альтернативном топливе» включен в обновленный Перечень ВАКа, просьба ко всем авторам строго выполнять следующие требования при подготовке статей к публикации:

1. Все научно-технические статьи должны иметь **на русском и английском языках** следующие составляющие:

заголовок, ФИО авторов полностью, их должности, ученая степень (при наличии), контакты (e-mail, телефоны), аннотации, ключевые слова.

2. Все английские тексты следует набирать только строчными буквами, сохраняя начальные прописные буквы в именах собственных.

3. Авторы остальных публикаций (информационных, рекламных и т.д.) представляют на русском и английском языках: **заголовок, ФИО авторов полностью, их должности, адрес и контакты (e-mail, телефоны).**

Редакция журнала также доводит до сведения авторов требования, которые необходимо соблюдать при подготовке статей для публикации.

Материалы статей должны быть представлены по электронной почте в программе WinWord. Объем статьи – не более 15 000 знаков с пробелами.

Представленный текстовый материал с иллюстрациями и таблицами должен иметь сквозную нумерацию. Графический материал должен быть выполнен в формате, обеспечивающем ясность всех деталей рисунков. Формулы и символы должны быть четкими и понятными. Все обозначения в формулах необходимо расшифровать. Нумеруются только те формулы, на которые сделаны ссылки в тексте. Обозначения физических величин и единиц измерений необходимо давать

в Международной системе единиц (СИ). Обязательно соблюдение действующих ГОСТов. Текст и таблицы должны быть выполнены в программе Word в формате doc, rtf. Фотографии и графические рисунки (не менее 300 dpi, CMYK) – в формате jpg, jpeg, tiff, pdf. Не следует форматировать текст самостоятельно.

При пересылке материалов по e-mail следует сопроводить их пояснительной запиской (от кого, перечень файлов и т.д.). Объемные файлы должны быть заархивированы. При подготовке статей к печати необходимо руководствоваться документами, определяющими правила передачи информации через СМИ. Авторский коллектив должен указать ответственное лицо, с которым редакция будет вести переговоры в процессе подготовки статьи к изданию. В список литературы включаются источники, на которые есть ссылки в статье. Ссылаться можно только на опубликованные работы. Список литературы составляется в порядке употребления. В нем приводятся следующие сведения: фамилия и инициалы авторов, название работы; для журнала – название, год издания, номер, страницы, на которых размещена статья; для книг – место и год издания, издательство, общее число страниц. Редакция оставляет за собой право редакторской правки и не несет ответственности за достоверность публикации. Все внесенные изменения и дополнения в представленную к изданию статью согласовываются с автором или представителем авторского коллектива.

Редакция оставляет за собой право размещать опубликованные статьи на сайтах журнала и Национальной газомоторной ассоциации. Редакция не передает и не продает материалы для публикации в других печатных и электронных изданиях без согласования с автором (представителем авторского коллектива).

Перечень поручений по итогам совещания о развитии проектов производства сжиженного природного газа

Президент РФ утвердил перечень поручений по итогам совещания о развитии проектов производства сжиженного природного газа, состоявшегося 8 декабря 2017 года.

Пр-2699, п. 1а ч. 1

1. Правительству Российской Федерации:

а) утвердить план («дорожную карту») реализации первоочередных мер по локализации критически важного оборудования для средне- и крупнотоннажного производства сжиженного природного газа (далее – СПГ) и строительства осуществляющих транспортировку СПГ судов-газовозов, обратив особое внимание:

на определение перечня критических технологий производства, транспортировки, хранения и использования СПГ;

| | |
|-----------------|------------------------------------|
| Организация | Правительство Российской Федерации |
| Ответственный | Медведев Дмитрий Анатольевич |
| Срок исполнения | 1 марта 2018 года |

Пр-2699, п. 1а ч. 2

на формирование и утверждение плана научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по созданию технологий производства, транспортировки, хранения и использования СПГ, включая определение необходимых объемов финансирования таких работ;

| | |
|-----------------|------------------------------------|
| Организация | Правительство Российской Федерации |
| Ответственный | Медведев Дмитрий Анатольевич |
| Срок исполнения | 1 марта 2018 года |

Пр-2699, п. 1а ч. 3

на определение перечня производственных площадок по созданию оборудования для производства, транспортировки, хранения и использования СПГ, включив в него предприятия оборонно-промышленного комплекса, осуществляющие программы диверсификации продукции;

| | |
|-----------------|------------------------------------|
| Организация | Правительство Российской Федерации |
| Ответственный | Медведев Дмитрий Анатольевич |
| Срок исполнения | 1 марта 2018 года |

Пр-2699, п. 1а ч. 4

на координацию работ по заключению соглашений о намерениях между публичными акционерными обществами «Нефтяная компания «Роснефть», «Газпром», «НОВАТЭК» и указанными производственными площадками, предусматривающих

размещение заказов на создание оборудования для производства, транспортировки, хранения и использования СПГ;

| | |
|-----------------|------------------------------------|
| Организация | Правительство Российской Федерации |
| Ответственный | Медведев Дмитрий Анатольевич |
| Срок исполнения | 1 марта 2018 года |

Пр-2699, п. 1б

б) представить предложения о мерах по дальнейшему стимулированию геологоразведочной деятельности в Арктической зоне Российской Федерации, ускоренного развития и освоения ресурсной базы для реализации перспективных проектов в сфере производства, транспортировки, хранения и использования СПГ на основе применения современных отечественных технологий;

| | |
|-----------------|------------------------------------|
| Организация | Правительство Российской Федерации |
| Ответственный | Медведев Дмитрий Анатольевич |
| Срок исполнения | 1 марта 2018 года |

Пр-2699, п. 1в

в) рассмотреть вопрос о возможности использования потенциала институтов развития Российской Федерации в целях создания инфраструктуры, необходимой для реализации новых проектов в сфере производства, транспортировки, хранения и использования СПГ;

| | |
|-----------------|------------------------------------|
| Организация | Правительство Российской Федерации |
| Ответственный | Медведев Дмитрий Анатольевич |
| Срок исполнения | 1 марта 2018 года |

Пр-2699, п. 1г

г) рассмотреть вопрос о целесообразности создания на Дальнем Востоке центров по перевалке и хранению СПГ в целях обеспечения интересов Российской Федерации в Азиатско-Тихоокеанском регионе.

Доклад – до 1 марта 2018 г.;

| | |
|-----------------|------------------------------------|
| Организация | Правительство Российской Федерации |
| Ответственный | Медведев Дмитрий Анатольевич |
| Срок исполнения | 1 марта 2018 года |

Пр-2699, п. 1д ч. 1

д) обеспечить корректировку документов стратегического планирования, в том числе Доктрины энергетической безопасности Российской Федерации, Транспортной стратегии Российской Федерации на период до 2030 года, и планов по их реализации, а также доработку проекта Энергетической стратегии России на период до 2035 года и проекта генеральной схемы развития газовой отрасли Российской Федерации на период до 2035 года, предусмотрев:

определение угроз энергетической безопасности Российской Федерации, связанных с развитием производства СПГ в мире, а также определение мер, направленных на их предотвращение, минимизацию или преодоление в условиях широкого применения механизмов экономического и политического противодействия расширению добычи и экспорта российского природного газа;

| | |
|-----------------|------------------------------------|
| Организация | Правительство Российской Федерации |
| Ответственный | Медведев Дмитрий Анатольевич |
| Срок исполнения | 1 июня 2018 года |

Пр-2699, п. 1д ч. 2

определение приоритетных направлений государственной политики в сфере производства, транспортировки, хранения и использования СПГ, а также этапов развития отечественной индустрии СПГ в целях обеспечения вхождения Российской Федерации в среднесрочной перспективе в число мировых лидеров по производству и экспорту СПГ;

| | |
|-----------------|------------------------------------|
| Организация | Правительство Российской Федерации |
| Ответственный | Медведев Дмитрий Анатольевич |
| Срок исполнения | 1 июня 2018 года |

Пр-2699, п.1д ч.3

обеспечение импортозамещения в сфере технологий и оборудования, необходимых для производства, транспортировки, хранения и использования СПГ;

| | |
|-----------------|------------------------------------|
| Организация | Правительство Российской Федерации |
| Ответственный | Медведев Дмитрий Анатольевич |
| Срок исполнения | 1 июня 2018 года |

Пр-2699, п. 1д ч. 4

определение мер по развитию научно-технического и кадрового потенциалов в сфере производства, транспортировки, хранения и использования СПГ с учетом необходимости разработки и освоения современных технологий;

| | |
|-----------------|------------------------------------|
| Организация | Правительство Российской Федерации |
| Ответственный | Медведев Дмитрий Анатольевич |
| Срок исполнения | 1 июня 2018 года |

Пр-2699, п.1д ч.5

приоритетное использование на объектах индустрии СПГ российских защищенных программных платформ, компонентов автоматизированных систем управления технологическими процессами, операционных систем и программного обеспечения в целях обеспечения безопасности информационных и телекоммуникационных систем этих объектов;

| | |
|-----------------|------------------------------------|
| Организация | Правительство Российской Федерации |
| Ответственный | Медведев Дмитрий Анатольевич |
| Срок исполнения | 1 июня 2018 года |

Пр-2699, п. 1д ч. 6

расширение сферы применения программно-целевых методов, обеспечивающих скоординированную деятельность заинтересованных федеральных органов исполнительной власти и организаций по различным направлениям развития индустрии СПГ;

| | |
|-----------------|------------------------------------|
| Организация | Правительство Российской Федерации |
| Ответственный | Медведев Дмитрий Анатольевич |
| Срок исполнения | 1 июня 2018 года |

Пр-2699, п. 1д ч. 7

совершенствование нормативно-правового и нормативно-технического обеспечения, учитывающего особенности правового регулирования в сфере производства, транспортировки, хранения и использования СПГ, включая разработку технических регламентов, норм и правил промышленной и пожарной

безопасности и охраны труда;

Организация
Ответственный
Срок исполнения

Правительство Российской Федерации
Медведев Дмитрий Анатольевич
1 июня 2018 года

Пр-2699, п.1д ч.8

развитие внутреннего рынка СПГ путем увеличения доли СПГ в структуре энергетического баланса субъектов Российской Федерации.

Доклад – до 1 июня 2018 г., далее – один раз в полгода;

Организация
Ответственный
Срок исполнения

Правительство Российской Федерации
Медведев Дмитрий Анатольевич
1 июня 2018 года

Пр-2699, п. 1е

е) разработать и утвердить комплекс мероприятий по поддержке развития транспорта, работающего на сжиженном газе, в частности городского и грузового транспорта, судов, тягового подвижного состава, использования карьерной и сельскохозяйственной техники, а также развития заправочной и сервисной инфраструктуры для обслуживания техники, использующей сжиженный газ в качестве моторного топлива.

Доклад – до 15 февраля 2018 г.;

Организация
Ответственный
Срок исполнения

Правительство Российской Федерации
Медведев Дмитрий Анатольевич
15 февраля 2018 года

Пр-2699, п. 2а

2. Минэнерго России:

а) представить предложения по развитию проектов малой генерации электроэнергии в удаленных регионах Российской Федерации с использованием СПГ в качестве топлива.

Организация
Ответственный
Срок исполнения

Министерство энергетики
Новак Александр Валентинович
10 марта 2018 года

Пр-2699, п. 2б

б) совместно с Минэкономразвития России и МИДом России принять меры по информационной и организационной поддержке российских нефтегазовых компаний, обеспечивающие заключение долгосрочных контрактов с зарубежными потребителями на поставки СПГ и выход этих компаний на новые рынки энергоносителей.

Доклад – до 1 сентября 2018 г., далее – один раз в полгода.

Организация
Ответственные
Срок исполнения

Министерство энергетики
Новак А.В., Орешкин М.С., Лавров С.В.
1 сентября 2018 года

Пр-2699, п. 3

3. МВД России совместно с ФСБ России, Росфинмониторингом и при участии Генеральной прокуратуры Российской Федерации разработать комплекс мер по предупреждению, выявлению и пресечению правонарушений, связанных с реализацией

проектов в сфере производства, транспортировки, хранения и использования СПГ в субъектах Российской Федерации, и обеспечить их выполнение.

Доклад – до 1 марта 2018 г.

Организация
Ответственные

Министерство внутренних дел
Колокольцев В.А., Бортников А.В.,
Чиханчин Ю.А., Чайка Ю.Я.

Срок исполнения

1 марта 2018 года

Пр-2699, п. 4

4. Росгвардии совместно с ФСБ России, МВД России, при участии Минэнерго России и субъектов топливно-энергетического комплекса принять дополнительные меры по профилактике нарушений обязательных требований обеспечения безопасности и антитеррористической защищенности объектов топливно-энергетического комплекса, относящихся к сфере индустрии СПГ.

Доклад – до 1 марта 2018 г.

Организация
Ответственные

ФСБ России
Золотов В.В., Бортников А.В.,
Колокольцев В.А., Новак А.В.

Срок исполнения

1 марта 2018 года

Пр-2699, п. 5

5. Минтрансу России принять дополнительные меры по профилактике нарушений обязательных требований обеспечения безопасности и антитеррористической защищенности объектов транспортной инфраструктуры и транспортных средств, относящихся к индустрии СПГ, в рамках осуществления федерального государственного контроля (надзора) в области транспортной безопасности.

Доклад – до 1 марта 2018 г.

Организация
Ответственный

Министерство транспорта
Соколов Максим Юрьевич

Срок исполнения

1 марта 2018 года

<http://kremlin.ru/acts/assignments/orders/56501>

Газомоторная техника будет использоваться во время проведения чемпионата мира по футболу

26 января 2018 года в г. Москве прошло заседание рабочей группы по вопросам использования природного газа в качестве моторного топлива при правительственной комиссии по вопросам развития ТЭК под руководством заместителя министра энергетики Российской Федерации Кирилла Молодцова. Участники мероприятия подвели итоги реализации программы субсидирования затрат на закупку автобусов и техники для ЖКХ на газомоторном топливе, а также итоги региональных программ по развитию рынка газомоторного топлива


в субъектах РФ и реализации проектов по развитию сети газозаправочной инфраструктуры в 2017 году. Также речь шла о планах по развитию ГМТ на 2018 год, в частности, о перспективах использования газомоторной техники на метане при проведении мероприятий Чемпионата мира по футболу в России.

Было отмечено, что в 2017 году в соответствии с решением правительства Российской Федерации выделено около 5 млрд руб. на реализацию мер по софинансированию из федерального бюджета закупок автобусов и техники для ЖКХ, работающих на ГМТ. По данным Минпромторга России, в рамках программы субсидирования реализовано примерно 3,5 тыс. единиц автобусов, техники дорожно-коммунальных служб и легковых автомобилей, использующих природный газ в качестве моторного топлива. Наибольшее количество техники приобретено в Республике Татарстан, Ростовской, Нижегородской и Владимирской областях.


Важным направлением развития рынка газомоторного топлива в 2018 году будет расширение использования сжиженного природного газа в качестве моторного топлива. Операторами газозаправочной инфраструктуры в этом году запланировано строительство пяти объектов, реализующих сжиженный природный газ. Российскими автопроизводителями уже ведется работа по разработке техники, использующей сжиженный природный газ. Минпромторг России планирует расширить перечень субсидируемой техники за счет включения в него техники, использующей сжиженный природный газ в качестве моторного топлива.







«В соответствии с данными компаний, в 2017 году введено в эксплуатацию 36 объектов газозаправочной инфраструктуры, в том числе АГНКС, МАГНКС (мобильные), модули КПП и реконструированные объекты. Таким образом, на 1 января 2018 года на территории Российской Федерации насчитывается 354 объекта газозаправочной инфраструктуры. Фактический объем реализации КПП в 2017 году составил около 600 млн кубометров, что на 65 млн (+12 %) больше, чем в 2016 году. В соответствии с планами компаний, в 2018 году запланированы строительство и реконструкция 67 объектов газозаправочной инфраструктуры в 28 субъектах Российской Федерации», – сообщил Кирилл Молодцов.

Проект плана деятельности Рабочей группы по расширению использования природного газа в качестве моторного топлива при Правительственной комиссии по вопросам ТЭК на 2018 год

8  **МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Всего запланировано

7 заседаний 

| | | |
|---|--------------------|---|
|  4 | выездных заседаний | г. Владимир (02.03.2018 г.), г. Екатеринбург (13.04.2018 г.), г. Краснодар (01.06.2018 г.), г. Тольятти (02.11.2018 г.) |
|  3 | заседания | по вопросам реализации программ РАЗВИТИЯ РЫНКА ГАЗОМОТОРНОГО ТОПЛИВА в субъектах Российской Федерации |
|  5 | заседаний | о реализации проектов по РАЗВИТИЮ СЕТИ ГАЗОЗАПРАВОЧНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ в субъектах РФ |
|  3 | заседания | о реализации ГОСУДАРСТВЕННОЙ ПРОГРАММЫ РФ по расширению использования природного газа в качестве моторного топлива |
|  2 | заседания | о реализации ПРОГРАММЫ СУБСИДИРОВАНИЯ затрат на закупку автобусов и техники ЖКХ, работающих на газомоторном топливе |
|  2 | заседания | о расширении использования ПРИРОДНОГО ГАЗА В КАЧЕСТВЕ МОТОРНОГО ТОПЛИВА на транспортных средствах государственных предприятий и применение схемы ГЧП |

Заместитель министра также подчеркнул, что в соответствии с решением Президента Российской Федерации поддержана идея использования газобаллонных автомобилей при проведении мероприятий чемпионата мира 2018 года. Для обслуживания маршрутов спортивных соревнований приобретаются, кроме прочего, автобусы, использующие природный газ в качестве моторного топлива. По данным ООО «Газпром газомоторное топливо», для обеспечения мероприятий чемпионата мира по футболу будет дополнительно построено и реконструировано девять АГНКС.

Также заместителем министра энергетики Российской Федерации Кириллом Молодцовым представлены три основные задачи в сфере развития рынка газомоторного топлива на 2018 год:

1. Разработка и утверждение документа стратегического планирования федерального уровня в области расширения использования природного газа в качестве моторного топлива.
2. Исполнение компаниями заявленных планов по реализации проектов по развитию газозаправочной инфраструктуры.
3. Снятие «административных» барьеров, связанных с переводом автомобильного транспорта на использование природного газа в качестве моторного топлива.

Газозаправочная сеть «Газпром» увеличится в Уральском федеральном округе

В Екатеринбурге и Магнитогорске завершено строительство двух автомобильных газонаполнительных компрессорных станций (АГНКС) сети «Газпром». Ввод в эксплуатацию новых объектов позволит увеличить газозаправочную сеть компании в Уральском Федеральном округе до 43 объектов.

Новая АГНКС «Газпром» в Екатеринбурге построена на ул. Вонсовского. Станция имеет восемь заправочных постов. Производительная мощность АГНКС составляет 8,9 млн кубометров природного газа в год, что позволяет заправлять около 500 единиц техники в сутки.

Газозаправочная станция в Магнитогорске – третья АГНКС «Газпром» в городе. Новая станция, производительностью 6,7 млн кубометров природного газа в год, расположена на ул. Калмыкова, д. 218. Шесть заправочных постов станции смогут ежедневно обслуживать до 300 единиц техники.

«Строительство новых газозаправочных объектов «Газпром» в регионах России позволяет удовлетворить растущий спрос на природный газ в качестве моторного топлива со стороны пассажирского, коммунального и коммерческого транспорта. Созданные локальные рынки газомоторного топлива в перспективе будут объединены в единую федеральную сеть АГНКС», – отметил генеральный директор ООО «Газпром газомоторное топливо» Михаил Лихачев.

Сегодня в Уральском Федеральном Округе действует 41 АГНКС, из которых в Свердловской области – 16, Челябинской области – 9, Ханты-Мансийском автономном округе – Югра – 8, Курганской области – 5, Ямало-Ненецком автономном округе – 2 и в Тюменской области – 1 АГНКС.

http://gazprom-gmt.ru/press-center/news/Gazozaprovchnaya_set_Gazprom

Будущее здесь

60

27 января в Набережных Челнах прошла итоговая коллегия Министерства транспорта и дорожного хозяйства Республики Татарстан. В заседании приняли участие Президент Республики Татарстан Рустам Минниханов и министр транспорта Российской Федерации Максим Соколов.

Для участников коллегии была организована выставка инновационной техники дорожно-транспортного комплекса, всего более 40 экспонатов. Глава Миндортранса РТ Ленар Сафин ознакомил Рустама Минниханова и Максима Соколова с новыми современными единицами дорожной техники и автотранспорта. Ведь экономия затрат на топливо и снижение вредных выбросов – одни из главных целей транспортной стратегии государства.



Компания «РариТЭК» организовала экспозицию, посвященную перспективам внедрения сжиженного природного газа на моторной технике. В экспозицию вошли как уже реализованные проекты по внедрению СПГ, так и проекты, которые предстоит реализовать в ближайшее время совместно с «Амкодор-Брянск», «Газэнергосеть Санкт-Петербург», «Ямалспецмаш» и «Хёндэ Трак энд Бас Рус».



Знакомство с экспозицией

Основная идея экспозиции – показать широкие возможности по внедрению СПГ на транспорте разных типов и уже существующие для этого условия. В качестве примера внедрения сжиженного природного газа на дорожно-строительной технике был продемонстрирован уже знакомый многим специалистам отрасли трактор К-702 с двигателем RGK, это самый первый реализованный проект по внедрению СПГ на тракторной технике в России.



Трактор К-702 с двигателем RGK

Не забыли и легендарный автомобиль – участник автопробега на СПГ «Голубой коридор–2017» КАМАЗ 43253. Для хранения СПГ на этом автомобиле установлен криобак российской компании ОАО НПО «Гелиймаш».

В качестве инструмента доставки СПГ клиентам был презентован передвижной газовый заправщик Cгуосап компании «Газэнергосеть Санкт-Петербург», которая уже четыре года занимается производством и поставками сжиженного природного газа.

Одной из приоритетных отраслей для внедрения СПГ является дорожно-строительная спецтехника, поскольку конструкция этих машин не позволяет устанавливать газовое оборудование для КПП.

В связи с этим в качестве одного из приоритетных проектов для внедрения сжиженного природного газа совместно с компанией «Амкодор Брянск» был представлен фронтальный погрузчик 332В. Широкий ассортимент техники «Амкодор» может стать основой для внедрения СПГ в агропромышленном, дорожно-строительном и лесопромышленном комплексах.

Первоначально расширение использования СПГ должно произойти на шоссейной технике и технике с высокими затратами на топливо, но уже сейчас интенсивность перевозок на небольшом коммерческом транспорте предъявляет особые требования к запасу хода и периодичности заправок. Для создания машин, удовлетворяющих этим требованиям, компания «РариТЭК» совместно с «Хёндэ Трак энд Бас Рус» реализует проект по созданию газомоторной версии автомобиля Hyundai HD 78.

Настоящим шоу-стоппером экспозиции стал вездеход ЯМАЛ Т-64, в качестве «донора» на котором используется кузов автомобиля УАЗ «Патриот». У этих автомобилей своя история. Вездеходы созданы для тяжелых условий эксплуатации:



Вездеход ЯМАЛ Т-64

вечная мерзлота, отсутствие дорог и слабые грунты тундры. Но современные требования экологии и экономичности одинаково строги ко всем типам техники, необходимо надежное и экологичное топливо. Поэтому для большинства газодобывающих компаний, к примеру, Ямало-Ненецкого автономного

округа, идеальный вездеход ездит на природном газе.

Если когда-то технику, работающую на СПГ, и можно было назвать «диковинкой», то по прошествии нескольких лет эксплуатации вопросов о целесообразности внедрения сжиженного природного газа не остается. Будущее наступит только для тех, кто к нему готов.

Справка

10 февраля 2009 года в администрации Брянской области состоялось подписание соглашения о сотрудничестве между администрацией области и ОАО «АМКОДОР» (Республика Беларусь). Соглашение направлено на укрепление экономических связей между братскими государствами. Стороны намерены организовать сотрудничество по выпуску специальной техники на территории Брянской области. С этой целью 11 августа 2009 года было создано ООО «Амкодор-Брянск».

ООО «Газэнергосеть Санкт-Петербург» (ООО «ГЭС СПб») образовано в мае 2011 года. Входит в Группу компаний «Газпром газэнергосеть». Компания осуществляет мелкооптовую реализацию сжиженного углеводородного газа (СУГ) и нефтепродуктов производства предприятий ПАО «Газпром», является организатором электронных торгов СУГ и нефтепродуктами на электронной торговой площадке eOil.ru, а также участником электронных торгов нефтепродуктами на электронной торговой площадке АО СПбМТСБ.

Компания «Хёндэ Трак энд Бас Рус» является официальным дистрибьютором Hyundai Motor Company в России по коммерческой технике с января 2017 года. Основная деятельность компании – продажа модельного ряда коммерческой техники через организованную сеть дилеров, которая насчитывает более 40 центров в различных регионах и городах России.

Производство вездеходов торговой марки «ЯМАЛ» было начато в 2009 году группой инженеров компании ООО «Ямалспецмаш», имеющих большой опыт эксплуатации и обслуживания транспортных средств, задействованных при строительстве инфраструктур Бованенковского месторождения (Ямало-Ненецкий автономный округ). Продукция ООО «Ямалспецмаш» сертифицирована в соответствии с законодательством Российской Федерации и имеет одобрение типа транспортного средства. Услуги сервисного и технического обслуживания вездеходной техники оказываются авторизованными центрами по ремонту автомобилей УАЗ в регионах и за пределами РФ.

По материалам пресс-службы компании РариТэк

В Испании запущен первый в мире поезд, работающий на сжиженном природном газе

Первый в мире пассажирский поезд, работающий на сжиженном природном газе, был представлен в январе властям и журналистам, которые проехали на нем расстояние в 5 км между двумя станциями в Астурии. Из-за большого числа пассажиров состав передвигался на скорости, не превышавшей 35 км/ч, однако в дальнейшем она должна существенно увеличиться.

В течение четырех месяцев этот поезд будет курсировать по астурийской железнодорожной сети и в общей сложности проедет 15 тыс. км, чтобы специалисты могли досконально изучить его в деле.



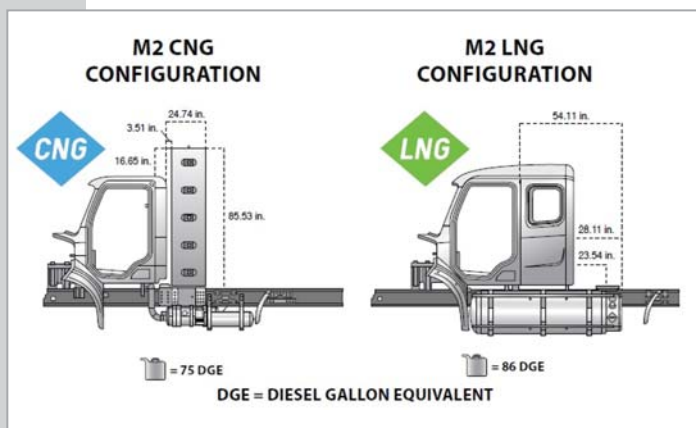
На данный момент в Испании электрифицированные железные дороги составляют 68 % всей сети, а по остальным передвигаются тепловозы, работающие на дизельном топливе. Предполагается, что новая модель поезда заменит их в тех районах, где электрификация в силу тех или иных причин не представляется возможной. Вначале это будут своего рода «гибридные» локомотивы, но в течение двух лет они должны полностью перейти на СПГ. В таком случае выбросы углекислого газа должны сократиться на 20-30 %, диоксида азота – на 60-80 %, а оксида серы исчезнуть практически полностью.

На разработку этого проекта, участие в котором приняли компании Renfe, Gas Natural Fenosa и Enagás, было потрачено 1,4 млн евро, и испанское правительство планирует и дальше вкладывать в развитие экологически чистого железнодорожного транспорта.

<https://espanarusa.com/ru/news/article/626573>

Снегоуборочная машина на метане

64



Варианты расположения газовых баллонов для Freightliner 112, 113

Канадский округ Оксфорд (провинция Онтарио) стал обладателем двух снегоуборочных машин Freightliner 114SD на природном газе, которые являются первыми в стране. В округе уверены, что им также удастся достичь определенные экологические цели, сократив выбросы углекислого газа.

«Это первые в Канаде газовые снегоуборочные машины, что весьма символично. Это особенное событие. Наши дорожные рабочие с нетерпением ждут момента, когда можно будет опробовать эти новые технологии в действии в суровых зимних условиях. Машины не будут стоять без дела, но их воздействие на экологию будет минимальным», – отметила Мелисса Эберкромби, менеджер инженерной службы округа.

Снегоуборщик Freightliner 114SD идеально подходит для уборки междугородных трасс. Его экологичная модель оснащается 8,9-литровым двигателем Cummins Westport ISL G на природном газе. Установленные баллоны объемом 227 л вмещают до 54 м³ КПГ. Но могут быть установлены и дополнительные цилиндрические баллоны или прямоугольный модуль для топлива.

Cummins ISL-G – это двигатель с искровым зажиганием, т.е. здесь нет необходимости в наличии дизельного топлива для предварительного впрыска, а следовательно нет нужды в селективном нейтрализаторе и присадке для дизельного выхлопа. ISL-G оснащен трехкомпонентным каталитическим нейтрализатором, не требующим обслуживания. Это исключительно газовый двигатель, работает только на одном газовом топливе. Многие запчасти схожи с дизельным Cummins ISL и взаимозаменяемы.

Производителем предоставляется двухлетняя гарантия (или 250 тыс. миль). Такой же двигатель Cummins ISL-G, но чуть меньшей мощностью (300 л.с.), устанавливается на снегоуборочных машинах на базе Kenworth T-470.

За последний год округ Оксфорд активно закупает новую технику на альтернативных видах топлива и переводит на газ существующую. В автопарке муниципалитета сейчас ездят на природном газе грузовики и машины скорой помощи. Еще есть гибридный электромобиль Chevrolet Volt. По примерным оценкам, эксплуатация таких автомобилей в 2017 году позволила снизить выбросы CO₂ в атмосферу на 1706 т.

https://www.korabel.ru/news/comments/pustili_spg_po_rekam.html

Водородная заправка в Орли

В парижском аэропорту Орли открыта станция общего доступа для заправки сжатым водородом легковых такси. В проекте участвуют компании Air Liquide (строительство и эксплуатация комплексов по производству криогенных газов), Groupe ADP (проектирование, строительство и эксплуатация аэропортов)*, государственно-частное партнерство FCH JU (The Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking – поддержка НИОКР и демонстрационных проектов в области водородных топливных элементов). В финансировании станции принял участие Евросоюз в рамках реализации проекта по созданию заправочной инфраструктуры для альтернативных видов моторного топлива.



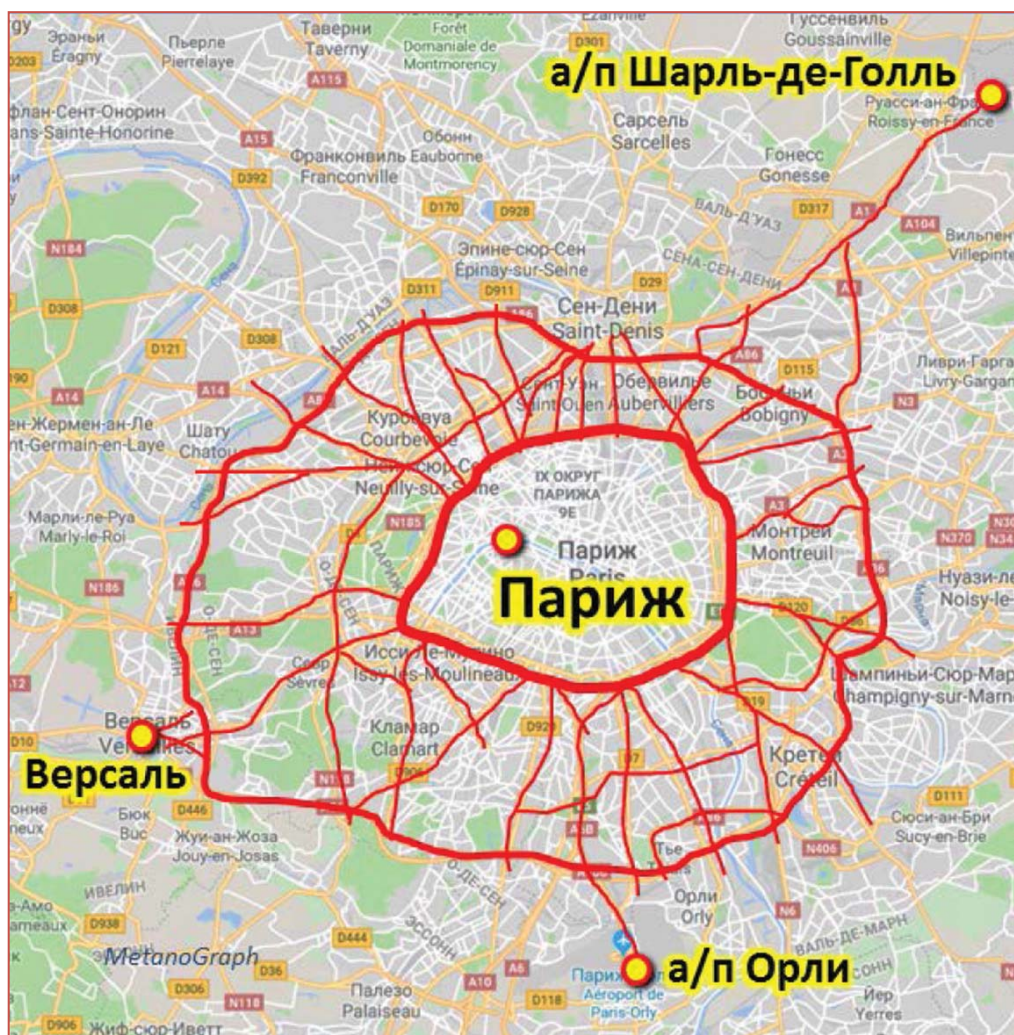
Водородная заправка в Орли

В 2015 году компания стартап STEP (Société du Taxi Électrique Parisien) совместно с Air Liquide сформировали первую в мире компанию такси Нуре (Hydrogen-Powered Electric), эксплуатирующую автомобили на водородных топливных элементах (ТЭ). Сейчас под брендом Нуре работают 50 таких машин двух марок Hyundai ix35 и Toyota Mirai. Компания намерена к 2020 году довести их парк до 600 ед. Предполагается, что они не дополнят семнадцатитысячный парк такси большого Парижа, а заменят бензиновые и дизельные машины. Это должно сократить общие автомобильные выбросы углекислого газа примерно на 800 тонн в год.

* Groupe ADP среди прочего оказывает содействие парижским аэропортам в переходе на использование транспорта на электричестве и водороде. Кроме того, она устанавливает в аэропортах зарядные посты для аэропортовых автомобилей и частных машин. Последние пользуются электроэнергией бесплатно.

Практически в центре Парижа в двух с половиной километрах от Лувра и в полутора километрах от Эйфелевой башни компания Air Liquide построила для таксистов свою первую водородную заправку. Вторая заправка открыта перед новым годом в аэропорту Орли. Компания Air Liquide планирует продолжить водородную экспансию и в 2018 году ввести в эксплуатацию новые станции в Париже – поблизости от Версаля и в аэропорту им. Шарля де Голля. Таким образом, будет сформирована базовая сеть заправок из четырех станций.

Если взглянуть на карту Парижа, замысел авторов проекта становится очевидным: одна заправка в центре города и три на северо-востоке, юге и юго-западе обеспечат водородным топливом такси практически во всех концах города.



Карта водородных заправок в Париже

В настоящее время по дорогам 12 стран Европы бегают более 300 машин Hyundai ix35. Запас водорода – 5,6 кг. Дальность пробега на одной заправке составляет 594 км.

Группа Toyota также связана партнерскими отношениями с компанией Air Liquide. В январе 2017 года они вошли в состав сформированного в Давосе «Водородного совета». Это – мощная международная координационно-лоббистская



Hyundai ix35 FCEVs: запас водорода 5,6 кг; пробег на одной заправке 600 км; асинхронный электромотор 100 кВт (134 л.с.), крутящий момент 300 нм



Toyota Mirai: запас водорода 5,0 кг; пробег на одной заправке 500 км; электромотор 113 кВт (152 л.с.), крутящий момент 335 нм

Обе машины оснащены протонно-обменными топливными элементами.
Время заправки водородом \approx 5 мин. Рабочее давление баллонов 70 МПа.

группа на уровне первых руководителей компаний. На данный момент объединяет 28 крупных компаний, включая: Air Liquide, Alstom, BMW, Daimler, Engie, Faber Cylinders, Hyundai, The Linde Group, Kawasaki, Mitsubishi Corporation, Mitsui Co., Shell, Statoil, Total, Toyota и др. Совет активно продвигает переход к водородной энергетике.

Е.Н. Пронин по материалам

<http://www.parisaeroport.fr/>; <https://www.airliquide.com/>;

<http://hydrogencouncil.com/>; <http://www.fch.europa.eu/>;

<https://en.wikipedia.org/>; <https://ngtnews.com/>

Паром Viking Grace: пять лет успеха

68

В январе 2018 года исполнилось пять лет с начала эксплуатации парома Viking Grace. Корабль курсирует между портами Турку (Финляндия) и Стокгольм (Швеция). За сутки он совершает один оборотный рейс, за неделю – пять-шесть. За одну бункеровку судно берет на борт около 60 тонн СПГ. Продолжительность бункеровки – около 40 минут. Заправка парома осуществляется раз в сутки у пирса Stadsgarden в Стокгольме по схеме «корабль – корабль» во время посадки/высадки пассажиров. Для выполнения этой операции шведская компания AGA Gas AB построила специальный плавучий танкер Seagas, который доставляет СПГ водным путем с терминала Нюнесхамн (Nynashamn).



Одна из четырех главных силовых установок Wärtsilä

Второй инженер парома Viking Grace Рууп Ниеминен (Roore Nieminen) отмечает, что состояние двигателей, работающих на СПГ, отличается в лучшую сторону по сравнению с теми, которые работают на традиционных нефтяных видах судового топлива. По словам инженера, это становится очевидным при проведении технического обслуживания или ремонта двигателей. Кроме того, он отметил, что использование СПГ облегчает содержание судна в чистоте.

Опыт эксплуатации парома показал, что фактический расход топлива (3,2 т СПГ и 64 кг мазута в час; стоимость производства электроэнергии в море 0,13 евро/кВт) на 20...25 % ниже расчетного, отметил эксперт компании AGA Gas AB Йонас Акермарк (Jonas Akermark). «Мы достигли своих целей. Viking Grace



На корме парома две емкости для СПГ вместимостью по 30 т каждая

на СПГ – это успешная история. СПГ предназначен судьбой стать топливом для судов следующего поколения. Без всяких сомнений», – сказал Акермарк.

Это мнение разделяет Маргус Каасик (Margus Kaasik), член правления эстонской газовой компании Eesti Gaas. Он в частности заявил: «Роль СПГ в качестве топлива на транспорте, особенно морском, в ближайшие годы будет расти. Компания Eesti Gaas считает его одним из ключевых элементов при формировании своих бизнес-планов».

Реализуя данный подход, компания Eesti Gaas, главный игрок эстонского газового рынка, уже имеющая опыт работы с СПГ, подписала соглашение с оператором терминала Klaipėdos Nafta о поставках сжиженного метана из Литвы. СПГ предназначен в том числе и для бункеровки парома Tallink Megastar.



Идет бункеровка парома

На основе материалов BUNKERINDEX

Стратегия GASUM

70

Финская газовая компания Gasum Oy (общая численность персонала в Финляндии, Швеции и Норвегии 400 человек, выручка в 2016 году составила 843 млн евро) приступила к созданию нордического транспортного СПГ-коридора по Скандинавским странам. Руководство группы заявило о намерении в 2018 году продолжить развитие своего зарубежного бизнеса в части строительства в Норвегии и Швеции КриоАЗС для заправки автомобильного транспорта сжиженным природным газом (СПГ) или биометаном.

Компания Gasum имеет 12 объектов по производству биометана и является североευропейским лидером по объему его производства. Газ подается в газораспределительные сети в городах Эспоо, Коуволла, Лахти и Рийхимяки. Компания Skangas, дочернее общество группы Gasum, активно занимается сжижением метана и его использованием на транспорте и в первую очередь морском. Skangas производит СПГ на установках в городах Рисавика (Норвегия) и Порвоо (Финляндия) и эксплуатирует терминалы в Ёра (Норвегия), Люсекиль (Швеция) и Пори (Финляндия).



В настоящее время в Финляндии работают 25 газовых заправок для биометана и природного газа. 16 из них функционируют в ключевых логистических хабах. Расположение станций можно найти на сайте Европейской газомоторной ассоциации <http://www.ngva.eu/get-directions>.

Доля компании Gasum в национальной сети газовых заправок составляет 70 % (18 станций). Стоимость биометана на заправках Gasum равна 0,928 евро/л в бензиновом эквиваленте (эл) или 1,45 евро/кг, стоимость природного газа – 0,795 евро/эл или 1,24 евро/кг. Таким образом, биометан в Финляндии по-прежнему

дороже традиционного КПП, и эта разница в настоящее время составляет примерно 17 %.

В последние годы Группа Gasum за собственные средства при участии Евросоюза построила заправки для СПГ в городах Хельсинки, Турку, Ювяскюля и Вантаа. В ближайшие годы компания предполагает открыть еще 35 станций в Северной Европе.

Тема получения биометана в Финляндии пользуется популярностью среди потребителей и поддержкой среди чиновников и бизнесменов. Несмотря на то, что биометан из возобновляемых источников примерно на 17 % дороже традиционного КПП, автовладельцы заправляют им свои автомобили по экологическим соображениям.

Идея сделать бизнес более «зеленым» овладевает все большим количеством сторонников. Так, например, финское отделение международной сети IKEA сотрудничает с компанией Gasum, чтобы получить биометан из отходов своих ресторанов и построить газовую заправку рядом с одним из своих магазинов в Эспоо. К переходу на метан компания IKEA подталкивает и своих транспортных партнеров. Таким образом будут формироваться энерго- и экоэффективные производственно-сбытовые цепочки замкнутого цикла, в которых отходы собственного производства становятся источником энергии для собственных же нужд.

Компания Gasum также имеет партнеров по развитию сегмента СПГ для бункеровки судов. В августе 2016 года она подписала соглашение с фирмой Wartsila, производящей среди прочего судовые двигатели, работающие на природном газе. Однако это сотрудничество не ограничено исключительно применением СПГ на море. Много взаимных интересов партнеры находят в области автономной газификации, энерго- и теплоснабжения с использованием природного газа и биометана.

Решение компании Gasum расширить свою международную заправочную сеть означает, что компания, во-первых, верит в устойчивое развитие рынка СПГ, а, во-вторых, стремится выиграть конкурентную гонку и заблаговременно формирует собственную сеть в транспортном коридоре, по которому будет ездить все больше грузовиков на СПГ. Паромное сообщение со странами Балтики позволяет легко и экономично формировать такой коридор.

Возможно, распространение или продление такого коридора в Россию не входят в перечень приоритетов компании Gasum. Однако, если такие станции появятся в северо-западном регионе, и коридоры выйдут в центральную, восточную и южную Россию, перевозчики станут активно ими пользоваться. Многие из них уже интересуются, когда будет введен в эксплуатацию многотопливный заправочный комплекс в районе Торфяновки.

Е.Н. Пронин по материалам Gasum Oy;

<https://www.ngva.eu/>;

<http://cngeurope.com/>; <https://www.gasum.com/>;

<http://www.ngvjournals.com/>; <https://www.bloomberg.com/>;

<https://www.petrolplaza.com/>; <http://www.gnvmagazine.com/>;

<https://bioenergyinternational.com/>

Электрогрузовик Tesla Semi

72

Е.Н. Пронин, координатор проекта «Голубой коридор»



Компания Tesla показала варианты электрического грузовика. В области электромобильности компания имеет амбициозные планы во всех основных сегментах: легковой, грузовой и пассажирский транспорт большой пассажироместности.

После нескольких лет работы в конце прошлого года Илон Маск, генеральный директор компании Tesla, и Жером Гийен, вице-президент компании по инженерным разработкам, представили профессиональной общественности две модели грузовика класса 8 (грузоподъемность более 15 т) Tesla Semi и частично раскрыли их характеристики. Шоу для нескольких сотен гостей прошло в ангаре аэропорта Хоторн недалеко от Лос-Анджелеса.

По утверждению Гийена, коэффициент аэродинамического лобового сопротивления электрогрузовика (0,36) даже меньше чем у скоростного болида Bugatti Chiron (0,38), не говоря уже о традиционном дизельном грузовике (0,65...0,70).

Tesla Semi оборудован четырьмя независимыми электромоторами на задних осях, обеспечивающими при полной нагрузке разгон от 0 до 60 миль за 20 сек. Пустой грузовик развивает эту скорость за 5 сек. Кроме того, машина поднимается по склону крутизной 5 % со скоростью 65 миль/ч, что почти в два раза быстрее обычного грузовика этого класса.

Компания Tesla предполагает комплектовать грузовик двумя вариантами аккумуляторных батарей (АКБ): на 300 и 500 миль пробега на одну зарядку. Расчетная емкость АКБ на 500 миль может составлять 1000 кВт·ч, если, конечно, принять утверждение компании, что расход энергии у автомобиля Tesla Semi составляет менее 2 кВт·ч на милю. Вопрос АКБ очень непростой: стоимость батарей на 400...600 кВт·ч может достигать 100 тыс. долл. США.

Также важный вопрос, волнующий автоперевозчиков, – это время зарядки грузовика. Компания Tesla представила устройство Megacharger мощностью 1,6 МВт (на базе предыдущей модели Supercharger V3), которое за 30 мин заряжает АКБ грузовика для пробега дальностью в 400 миль.

Про цену грузовика (рынок ожидает примерно 250 тыс. долл., что более чем в два раза выше, чем цена дизельного грузовика –120 тыс.) и стоимость пробега руководители компании Tesla практически ничего не сказали, ограничившись заявлением, что общая стоимость владения дизельным грузовиком составляет 1,51 долл. на милю пробега, а в случае с электрогрузовиком Tesla Semi она составит 1,26 долл. на милю. Показатель рассчитан при следующих условиях: пробег 100 миль; скорость 60 миль/ч; общая масса автомобиля 36 т; цена ДТ 2,50 долл./галлон; цена электроэнергии 0,07 долл./кВт·ч.

Илон Маск упомянул также, что грузовик Tesla Semi будет иметь ряд функций беспилотного управления (автоматическое экстренное торможение, автоматический контроль рядности, предупреждение о столкновении), что может быть полезным для проводки караванов из трех машин в полуавтоматическом режиме управления: один лидер с водителем плюс два беспилотника. В этом случае стоимость владения при прочих равных условиях может снизиться до 0,85 долл./милю. Есть подозрение, что стоимость владения могла быть рассчитана в беспилотном варианте. Едва ли эта информация обрадует тысячи водителей.

Поскольку технико-экономические подробности не представлены, можно предположить, что компания Tesla должна была значительно повысить эффективность новой машины. В противном случае применение электричества вместо дизельного топлива не имеет экономического смысла. Исходя из принятого в Евросоюзе эквивалента 1 л ДТ = 10 кВт, при нынешних ценах в США получается, что электроэнергия на 6 % дороже дизельного топлива.

Производство грузовика Tesla Semi начнется только в 2019 г. Однако подписка на него стоимостью 5000 долл. уже объявлена. Среди подписчиков известная компания Wall-Mart. Она возьмет 15 грузовиков; пять для своих магазинов в США и 10 для канадских. Транспортная компания J.B. Hunt также подтвердила намерение купить несколько электрогрузовиков. Канадская сеть продовольственных супермаркетов Loblaws купит 25 машин.

Компания Tesla планирует выдавать гарантию на 1 млн миль, тогда как для обычного дизельного грузовика гарантия ограничена 300 тыс. миль.

Tesla не единственная компания, разрабатывающая грузовики на электричестве. Свои концепт-траки уже показали компании Cummins и Daimler. Однако дальше этого они пока не продвинулись.

Президент Североамериканской газомоторной ассоциации NGVAmerica Дэниэл Гейдж (Daniel Gage) так прокомментировал сообщение компании Tesla о ее будущем электрическом грузовике:

«Такие заявления хороши для газетных заголовков и не более. А вот чистые грузовики на природном газе уже меняют к лучшему наш воздух и сокращают наш углеродный след. Компании, члены NGVAmerica, выпускают безопасные, эффективные, доступные по цене, экологически чистые автомобили и силовые агрегаты уже на протяжении десятилетий. Самый чистый в мире двигатель для грузовика работает на природном газе... Не ждите завтрашнего дня, чтобы начать очищать наш воздух. Начните сегодня с помощью доступных технологий природного газа».

С Дэниэлом Гейджем можно согласиться. Проблема выбора для России также актуальна.

Пока не ясно, когда электрические магистральные тягачи станут интересны российскому рынку автоперевозчиков, если вообще станут. Не раньше того времени, когда будут решены институциональные (нормы, квоты, тарифы, страхование, занятость и т.д.) и инфраструктурные (ресурсы, производство, заправка, сервис, утилизация и т.д.) вопросы. Без поддержки коммерчески непривлекательные новации обречены на отторжение. Пусть конкурентоспособные технологии развиваются и внедряются там, где это оправданно и востребовано.

В настоящее время в части развития альтернативных видов моторного топлива нужно сосредоточиться на максимальном использовании российского ресурса – природного газа. Пока этот ресурс у России есть, переносить иностранные стратегии на нашу почву (в том числе перевод транспорта на электричество) нужно крайне осторожно.

Для Российской Федерации наилучшей альтернативой дизельному топливу является природный газ. Его запасы, наличие развитой инфраструктуры, накопленный опыт по производству и применению КПП и СПГ, обученный персонал, совершенствующаяся нормативная база, расширяющееся отечественное производство всей гаммы техники, наличие государственной поддержки позволяют в ближайшие годы использовать природный газ в качестве моторного топлива, а не в качестве топлива для производства электроэнергии, чтобы заряжать ею аккумуляторы грузовиков.

По материалам: <http://www.usgasvehicles.com>; <https://electrek.co>;
<http://gazpronin.ru/>; European Commission. Directorate-General for Mobility and Transport

Abstracts of articles

P. 10

The mathematical model of the actual and theoretical cycles of a diesel with a high supercharging

Sergey Kozlov, Stanislav Lyugay

A new way of analytical integration of the differential heat balance equation in the diesel cylinder during fuel combustion is proposed in the article. Equations are obtained that establish a direct relationship between the pressure and temperature of the gas with the angle of rotation of the crankshaft and the characteristics of the fuel supply, including equations for calculating the maximum pressure and combustion temperature and the indicator parameters of the diesel-indicator efficiency and mean indicator pressure. The decisive role of the fuel supply characteristic in the development of the heat release process is shown. Generalized empirical relationships are obtained, which establish the relationship between the relative amount of heat released during the main combustion period and the duration of the entire combustion process with the cycle dynamics factor.

Keywords: heat balance, pressure and temperature in the diesel cylinder, the factor of dynamic cycle, the amount of heat, indicator value of the diesel.

References

1. Theory of internal combustion engines / Ed. Dyachenko N.Kh. – M.: Mechanical Engineering, 1974. – 552 p.
2. Zhukov V.P., Pavlichenko A.M. Study on the characteristics of the heat release of ICE by the load characteristic using nonlinear programming methods. Trudy NKI, vol. 12. – Nikolaev: NCI, 1976. – P. 50-55.
3. Internal combustion engines: Theory of reciprocating and combined engines: Proc. for VTUZ specialty «Engines of internal combustion» / Vyubov D.N., Ivashchenko N.A., Ivin V.I. and others. Ed. A.S. Orlin, M.G. Kruglov, 4th ed., Renewed and additional. – M.: Mechanical Engineering, 1983. – 372 p.
4. Voinov A.N. Burning in high-speed reciprocating engines. – M.: Mechanical Engineering, 1977. – 275 p.
5. Razleytsev N.F., Semyonov N.G., Levkovich S.A. Calculation of the combustion process in diesel locomotive: Resp. interd. collection, issue. 27. – Kharkov: High School, 1978. – 82 p.
6. Portnov D.A. High-speed turbo piston engines with compression ignition. – M.: Mashgiz, 1963. – 638 p.
7. Tolstov A.I. Processes of mixture formation and combustion in high-speed engines with compression ignition during supercharging. Proceedings of VNITOE. – Mashgiz, 1954.
8. Roganov S.G. Analytical determination of the coefficient of residual gases in two-stroke engines // Izvestiya Vuzov. – 1964. – No. 7. – P. 15-18.

P. 22

Study of the effect of the application of methanol-fuel emulsion in a diesel engine 4Ч 11,0/12,5 and the impact of the use of natural gas in diesel 4ЧН 11,0/12,5 at the performance of the combustion process, the volume content and mass concentration of nitrogen oxides depending on the load

Vitaly Likhanov, Alexey Grebnev, Maxim Skryabin, Alexey Toropov

The article considers the possibility of using alternative fuels (methanol-fuel emulsion and natural gas) for automotive diesel engines, studied the performance of combustion and environmental performance for different load modes in comparison with diesel fuel.

Keywords: methanol-fuel emulsion, natural gas, performance of the combustion process, oxides of nitrogen.

References

1. Likhanov V.A., Toropov A.E. Improving the environmental performance of the diesel 4CH 11.0 / 12.5 when working on a methanol-fuel emulsion by reducing the smokiness of the exhaust gases: monograph. – Kirov: Vyatka State Agricultural Academy, 2010. – 142 p.
2. Likhanov V.A., Lopatin O.P., Skryabin M.L. Study of the processes of formation and decomposition of nitrogen oxides in a diesel cylinder 4CHN 11.0 / 12.5 with intercooling of air after operation with natural gas: monograph – Kirov: Vyatka State Agricultural Academy, 2008. – 146 p.

P. 28

Development of methods of reduction of emissions of a biphasic cryogenic product at test of power installation

Vladimir Shishkov

The technological processes and levels of losses of a cryogenic product in a complete cycle from the moment of his delivery before termination test of power installation are certain in its operational development. The purpose of the study is to decrease the cost of tests. The tasks on minimization and use of losses of a cryogenic product while testing are considered. The algorithms and techniques of the definition of losses of a cryogenic product in various technological processes are developed which allows optimizing realization of a test of power installation. On the basis of the developed techniques, the accounts are executed and the relative losses of a cryogenic product are certain depending on used thermal isolation of cryogenic pipelines and fixture, initial and final temperature of system of submission, pressure of a cryogenic product during cooling, material of pipelines and kind of a cryogenic product (hydrogen, nitrogen, oxygen). The methods and technical decisions on the decrease and use of emissions of a cryogenic product are offered, depending on their charges, in technological processes at a realization of tests of power installations. For a decrease of losses of a cryogenic product, the recommendations for parameters and conditions are given at realization of technological operation of cooling of pipelines, units of the stand and power installation at its test. The work is intended for the engineers of the designers and technologists of test stations.

Keywords: power installation, cryogenic product, relative losses on cooling, test.

References

1. Gelperin I.I., Ilinski A.A., Almazov O.A., Adugin I.A. Liquid hydrogen. – M., «Chemistry», 1980. – 228 p. (In Russ.).
2. Heat transfer at low temperatures / Edited by U. Frost, translation from English. V.V. Altov and A.A. Vasileva. – M., «World», 1977. – 392 p. (In Russ.).
3. Fastovski V.G., Petrovski U.V., Rovinski A.E. Cryogenic engineering. – M., «Energy», 1967. – 415 p. (In Russ.).
4. Kalinin E.K., Dreicer G.A. etc. Methods of the connected tasks of heat exchange. – M., «Mechanical Engineering», 1983. – 232 p. (In Russ.).
5. Vargaftik N.V. The directory on thermal and physical to properties of gases and liquids. – M., «Science», 1972. – 720 p. (In Russ.).
6. Kogevnikov I.G., Novicki L.A. Thermal and physical of property of materials at low temperatures. The directory, 2nd the edition, advanced and complemented. – M., Mechanical Engineering, 1982. – 328 p. (In Russ.).

P. 37

*Partially homogeneous combustion traditional and alternative fuel in diesel engines**Part 1. Ways of combustions homogenization*

Revaz Kavtaradze, Tamaz Natriashvili, Merab Glonti, Elshan Bahramov

The factors complicating the application of the process of homogeneous combustion are analyzed and the comparative analysis of various ways of realization of the perspective process of partially homogeneous combustion intended for a decrease of concentration of harmful substances in products of combustion of a diesel engine is shown. Ways of partial homogenization of combustion, including divided (homogeneous-heterogeneous) combustion (Split combustion) are studied. On the basis of results of experimental researches and 3D-modelling of working process for various variants of diesel engines with partially homogeneous combustion strategy repeated injection taking into account degree recirculation the fulfilled gases, leading of low-temperature process of combustion and appreciable improvement of ecological characteristics of a diesel engine is defined.

Keywords: diesel engine, partially homogeneous combustion, Homogeneous-heterogeneous combustion (Split Combustion), multi-injection, harmful emissions.

References

1. Кавтарадзе Р.З. Теория поршневых двигателей. Специальные главы. 2-е издание. – М.: изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2016. – 590 с.
2. Basshuesen R., Schäfer F. Handbuch. Verbrennungsmotor. 4. Aufgabe. – Wiesbaden: Vieweg & Sohn Verlag, 2007. – 1032 s.
3. Ra Y., Reitz R.D. The Use of Variable Geometry Sprays with Low Pressure Injection for Optimization of Diesel HCCI-Engine Combustion. – SAE, 2005-01-0148.
4. Исследование горения в дизеле (материалы конгресса СИМАС-2013) // Двигателестроение. – 2016. – №1. – С. 45-57.
5. Kavtaradze R.Z., Natriashvili T.M., Zelentsov A.A. Ignition Delay and Emission of the Noxious Substances in Double-Fuel Engines Working on the natural Gas and Syngases // Chapter 15 (p. 109-120) in the Book: Innovative Methods for Improvement of Technical, Economic and Ecological Efficiency of Motor Cars (ISBN:978-1-63463-671-1). – New-York: NOVA-Publishers, 2015. – 138 p.
6. Wesslau M., Bargende M., Haas S., Boulouchos K., Barroso G., Escher A. Homogene Dieselvebrennung – Verfahren zur Emissionsreduzierung. Teil 1: Untersuchungen am Pkw-Dieselmotor // MTZ. – 2006. – № 10. – S. 798-805.
7. Müller E., Weiskirch Ch., Bach E., Emmrich Th., Bach E., Schneemann A. Homogene Dieselvebrennung – Verfahren zur Emissionsreduzierung. Teil 2: Untersuchungen am Nfz-Motor // MTZ. – 2006. – № 11. – S. 906-917.
8. Schneemann A., Emmrich Th., Bach E. Oberflächentemperaturmessung und lokale Wärmeübergang // Informationstagung Motoren. Herbst 2006, Würzburg. Heft R 535 (2006). – S. 281-305.
9. Henle A. Entkopplung von Gemischbildung und Verbrennung bei einem Dieselmotor: Dissertation. – München, 2006. – 193 s.
10. König, G., Raab, A. Brennraum einer selbst zündenden Brennkraftmaschine Stuttgart, DaimlerChrysler AG, Patentschrift WO/2006/058640 (2006).
11. Gatellier, B., Ranini, A., Castagné, M. New developments of the NADI concept to improve operating range, exhaust emissions and noise In: Oil & Gas Science and Technology // Rev. IFP. – 2006. – Vol. 61. – Nr. 1. – S. 7-23.
12. Lewander M., Jojansson B., Tunestal P., Keeler T., Tullis S., Milovanovich N. Evaluation of the Operating Range of Partially Premixed Combustion in a multi Cylinder Heavy Duty Engine with Extensive EGR. – SAE. 2009-01-1127.
13. Hashizume T., Myamoto T., Akagawa H., Tsujimura K. Combustion and Emission Characteristics of Multiple Stage Diesel Combustion. – SAE Paper 980505, 1998.
14. Shimazaki, N., Akagawa, H., Tsujimura, K. An experimental study of premixed lean diesel combustion. – SAE-paper 1999-01-0181.
15. Weiskirch, C. Reduktion von NOx- und Partikelemissionen durch (teil-) homogene Dieselvebrennverfahren. – Braunschweig, Technische Universität, Dissertation (2007).
16. Кавтарадзе Р.З., Сергеев С.С. Новый альтернативный (частично-гомогенный) процесс сгорания как способ снижения концентраций оксидов азота и сажи в продуктах сгорания дизеля // РАН. Теплофизика высоких температур. – 2014. – Т. 52. – № 2. – С. 294-309.
17. Кавтарадзе Р.З., Зиновьев И.А. Влияние частичной гомогенизации процесса сгорания на экологические показатели дизеля // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. «Машиностроение». – 2016. – № 4. – С. 113-127.
18. Кавтарадзе Р.З., Онищенко Д.О., Зиновьев И.А., Голосов А.С. Влияние альтернативного процесса впрыскивания топлива на локальные образования оксидов азота и сажи в камере сгорания дизеля // Известия РАН. Энергетика. – 2016. – № 5. – С. 152-159.
19. Han X., Wang M., Zheng M. An Enabling Study of Neat n-Butanol HCCI Combustion on a High Compression-ratio Diesel Engine. – SAE Technical Paper. 2015-01-0001.
20. Valentino G., Corcione F.E., Iannuzzi S.E., Serra S. Experimental study on performance and emissions of a high speed diesel engine fuelled with n-butanol/diesel blends under premixed low temperature combustion // Fuel. – 2012. – 92(1). – Pp. 295-307.
21. Rahman A., Ramesh A. Effect of Split Injection on Combustion and Performance of a Biogas-Diesel Fueled PPCCI Engine. – SAE Technical Paper, 2015-24-2453.
22. Кавтарадзе Р.З. Улучшение экологических показателей водородного дизеля с непосредственным впрыскиванием газообразного водорода // РАН. Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2016. – Т. 45. – № 4. – С. 20-29.
23. Кавтарадзе Р.З., Краснов В.М. Влияние частичной гомогенизации смеси на образование оксидов азота в камере сгорания водородного дизеля // Транспорт на альтернативном топливе. – 2016. – № 2 (50). – С. 50-56.
24. Кавтарадзе Р.З. Теплофизические процессы в дизелях, конвертированных на природный газ и водород. – М.: изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. – 238 с.
25. FIRE. Users Manual // AVL List GmbH. – Graz (Austria), 2017.
26. Alkidas A.C. Relationships between smoke measurements and particulate measurements // SAE Technical Paper 840412. – 1984. – 9 p.
27. Кавтарадзе Р.З., Онищенко Д.О., Зеленцов А.А. Трехмерное моделирование нестационарных теплофизических процессов в поршневых двигателях. – М.: изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012. – 85 с.
28. Kavtaradze R., Natriashvili T., Zelentsov A., Glonti M. Lokal heat exchange in combustion chamber and the intensive heat state of the diesel piston, converted into the two-fuel engine // International Scientific Journal IFToMM «Problems of Mechanics». – 2013. – № 1 (52). – Pp. 55-61.
29. Kavtaradze R.Z., Zelentsov A.A., Onishchenko D.O., Skripnik A.A. Simulation of Local Heat Transfer in Combustion Chamber of Aircraft Piston Engine / Proceedings AVL International Simulation Conference 2017, June 27–29, Austria, Graz. – 2017. – Pp. 1-7.
30. Chang J., Güralp O., Filipi Z., Assanis D., Kuo T.W., Najt P., Rask R. New Heat Transfer Correlation for an HCCI Engine Derived from Measurements of Instantaneous Surface Heat Flux // SAE Technical Paper 2004-01-2996. – 18 p.
31. Reitz R.D., Duraisamy G. Review of high efficiency and clean reactivity controlled compressionignition (RCCI) combustion in internal combustion engines // Progress in Energy and Combustion Science. – 2015. – V. 46. – Pp. 12-71.
32. Reitz R.D. Das Diesel-Dilemma // MTZ. – 2016. – № 3. – S. 90.

Авторы статей в журнале № 1 (61) 2018 г.

Бахрамов Эльшан Видади оглы,
аспирант МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва,
e-mail: elsbac@mail.ru

Глонти Мераб Галактионович,
докторант Института механики машин
им. Рафаэля Двали, Тбилиси, Грузия
e-mail: merabglonti@gmail.com

Гребнев Алексей Владимирович,
к.т.н., доцент кафедры тепловых двигателей,
автомобилей и тракторов
ФГБОУ ВО Вятская ГСХА, тел. (8332) 57-43-46
e-mail: lv99@mail.ru

Кавтарадзе Реваз Зурабович,
профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана, д.т.н.,
м.т. 8 910 469-00-12, р.т. (499) 265-78-92,
e-mail: kavtaradzerz@mail.ru

Козлов Сергей Иванович,
доктор технических наук,
тел. 8 495 719 60 88; д.т. (499) 128-59-51,
e-mail: si.kozlov2008@gmail.com

Лиханов Виталий Анатольевич,
доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой тепловых двигателей,
автомобилей и тракторов
ФГБОУ ВО Вятская ГСХА, тел. (8332) 57-43-07
e-mail: lihanov.fsp@mail.ru

Люгай Станислав Владимирович,
к.т.н., директор Центра использования газа
ООО «Газпром ВНИИГАЗ»,
e-mail: S_Lyugai@vniigaz.gazprom.ru

Натришвили Тамаз Мамиевич,
д.т.н., профессор, директор
Института механики машин им. Рафаэля Двали,
Тбилиси, Грузия,
e-mail: t_natriashvili@yahoo.com

Пронин Евгений Николаевич,
координатор проекта «Голубой коридор»,
руководитель РК5 Международного газового
союза, e-mail: e.pronin@mail.ru

Скрябин Максим Ленидович,
кандидат технических наук, доцент кафедры
тепловых двигателей, автомобилей и тракторов
ФГБОУ ВО Вятская ГСХА, тел. (8332) 57-43-46
e-mail: max.dvs@mail.ru

Торопов Алексей Евгеньевич,
к.т.н., доцент кафедры тепловых двигателей,
автомобилей и тракторов
ФГБОУ ВО Вятская ГСХА, (8332) 54-16-30
e-mail: toropovalexe@yandex.ru

Шишков Владимир Александрович,
д.т.н., академик РАН, начальник
технического отдела ООО «Рекар»,
e-mail: Vladimir-Shishkov@yandex.ru

Contributors to journal issue № 1 (61) 2018

Bahramov Elshan,
post-graduate student of Bauman Stat TU,
Moscow, e-mail: elsbac@mail.ru

Glonti Merab,
Doctoral student, Raphael Dvali Institute
of Machine Mechanics, Tbilisi, Georgia,
e-mail: merabglonti@gmail.com

Grebnev Alexey,
PhD, associate Professor of Heat engines,
automobiles and tractors of the Vyatka state
agricultural Academy,
e-mail: lv99@mail.ru, phone: + 7 (8332) 57-43-46

Kavtaradze Revaz,
professor of Bauman Moscow State Technical
University, Doctor of Engineering, mobile
phone: 8 910 469-00-12,
office phone: (499) 265-78-92,
e-mail: kavtaradzerz@mail.ru

Kozlov Sergey,
doctor of technical sciences,
tel. + 7 (499) 128-59-51,
e-mail: si.kozlov2008@gmail.com

Likhanov Vitaly,
doctor of technical Sciences, Professor,
head of Department of Heat engines, automobiles
and tractors of the Vyatka state agricultural Academy,
e-mail: lihanov.fsp@mail.ru
phone: + 7 (8332) 57-43-07

Lyugay Stanislav,
PhD, Director of the Centre «Gas Use»,
JSC «Gazprom VNIIGAZ»,
e-mail: S_Lyugai@vniigaz.gazprom.ru

Natriashvili Tamaz,
Doctor of technical Sciences, professor, director,
Raphael Dvali Institute of Machine Mechanics,
Tbilisi, Georgia, e-mail: t_natriashvili@yahoo.com

Pronin Eugene,
IGU WOC5 Chairman, coordinator of the
«Blue Corridor» project, e-mail: e.pronin@mail.ru

Shishkov Vladimir,
Doktor of Science (Technical), the academician
Academy of Natural History, Chief of a technical
department «Recar», Togliatty,
phone: +7 (8482) 35-29-07, +7 9277-847157,
e-mail: Vladimir-Shishkov@yandex.ru

Skryabin Maxim,
PhD, associate Professor of Heat engines, automobiles
and tractors of the Vyatka state agricultural Academy,
e-mail: max.dvs@mail.ru, phone: +7 (8332) 57-43-46

Toropov Alexey,
Ph.D., associate Professor of Heat engines,
automobiles and tractors of the Vyatka state
agricultural Academy,
e-mail: toropovalexe@yandex.ru,
phone: +7 (8332) 54-16-30

Перечень статей, опубликованных в журнале «Транспорт на альтернативном топливе» в 2017 г.

№ 1 (55)

«Газпром» выполнил газомоторную производственную программу на 2016 год

Газовый КАМАЗ доказал эффективность EcoGas

Фролов А.С., Коротков М.В. С таким техрегламентом и санкции не нужны!
Новые нормы делают дешевый газ на транспорте невыгодным

Климентьев А.Ю. Интеллектуальная навигация для транспорта на ГМТ

Патрахальцев Н.Н., Виноградов Л.В., Лотфуллин Ш.Р. Повышение экономичности газового двигателя КАМАЗ отключением части цилиндров на режимах малых нагрузок

Терских В.М., Катаргин В.Н., Сбитнева А.А., Михайлова Е.С. Закономерности системы управления складом автомобильных запасных частей

Газомоторный автогидроподъемник

Усошин В.А., Ковалев А.Н. Старые ошибки, сегодняшние проблемы, новые тенденции в сфере использования газомоторного топлива (аналитическое обозрение)

Лед тронулся

Для АГНКС понизят класс опасности

Ульяновская область подписала два соглашения в Иране

Поезда и паромы перейдут на экологическое топливо

Презентация эффективной разработки

РариТЭК и EControls

Кроссовер Lada научат ездить на метане

«Группа ГАЗ» начала серийное производство автомобиля «ГАЗон NEXT» на КПП

Для Севастополя приобретут 25 новых автобусов на ГМТ

В Санкт-Петербурге появятся новые рейсовые автобусы

Пронин Е.Н. Перевод судов на СПГ окупается за год

Налоги на газ в Португалии

Сколько стоит переход на метан

Iveco наращивает гамму машин на КПП

Abstracts of articles

Авторы статей в журнале № 1 (55) 2017 г.

Перечень статей, опубликованных в журнале «Транспорт на альтернативном топливе» в 2016 г.

№ 2 (56)

Поздравляем с юбилеем!

Газозаправочным станциям понизили класс опасности

Новым клиентам АГНКС «Газпром» – топливные карты EcoGas

Коротков М.В. Сравнительный анализ использования КПП и СУТ в качестве моторного топлива. Продуктовая конкуренция или взаимное дополнение?

Ерохов В.И. Экологическая эффективность газобаллонного автомобиля на компримированном природном газе

Евстифеев А.А., Ермолаев А.Е., Кондрашов А.М., Сергеев М.С. Результаты технико-экономического анализа обеспечения ОАО «РЖД» газовым моторным топливом

Сальников С.В., Сарма Р.Е., Кислый Е.А. Построение интегрированной системы управления АГНКС

Терехов А.Л., Семенцев А.М. Повышение безопасности морской нефтегазодобычи на арктическом шельфе путем применения средств индивидуальной защиты

Экологические автобусы «Волгабас»

Газовые НЕФАЗы будут обслуживать чемпионат мира по футболу

Десять миллионов рублей на перевод сельхозтехники на газ

Экспорт и инновации – будущее российского автопрома

Новый генеральный секретарь NGVA EUROPE

Голубой коридор – 2017

Тимофеев В.В., Дрыгина Ю.Н. Современное состояние и перспективы развития газовых рынков Китая и Монголии

Пронин Е.Н. Берлинский разворот в сторону СПГ

Abstracts of articles

Авторы статей в журнале № 2 (56) 2016 г.

№ 3 (57)

Минтранс России стимулирует развитие рынка газомоторного топлива

Бизнес переходит на природный газ

Нефтегазовое сотрудничество в рамках форума «Один пояс, один путь»

VI Международный научно-технический семинар «Газомоторное топливо. Комплексные подходы к развитию отрасли»

Люгай С.В., Дрыгина Ю.Н., Тимофеев В.В. Некоторые способы повышения эффективности производственных процессов на АГНКС

«Газпром» и «Автодор» будут взаимодействовать в сфере развития придорожной инфраструктуры

Коротков М.В. Сравнительный анализ использования КПП и СУГ в качестве моторного топлива. Продуктовая конкуренция или взаимное дополнение?

Климентьев А.Ю., Климентьева А.А. Аммиак – перспективное моторное топливо для безуглеродной экономики

Васильев Я.В., Медрес Е.Е., Голов Е.В. Перспективы применения альтернативных источников энергии и тепла на сети автомобильных дорог

Овсянников Е.М., Гайтова Т.М., Корюшкин С.А. Электромеханическая система рекуперации энергии выхлопных газов гибридного автомобиля

Коклин И.М., Короленок А.М., Казаков Д.В. Научно-практическое подразделение на производстве – важное звено в расширении использования газомоторного топлива

Признанное качество белорусского производителя

Число судов на СПГ возрастет

Пронин Е.Н. Рынок ГБА вырос в 30 раз

Газ может проиграть электричеству

Международные новости

Abstracts of articles

Авторы статей в журнале № 3 (57) 2017 г.

№ 4 (58)

Сжиженный природный газ для локомотивов

«Газпром» обеспечил топливом EcoGas Кубок Конфедераций 2017

Общее годовое собрание членов Ассоциации организаций в области газомоторного топлива «Национальная газомоторная ассоциация»

Гнедова Л.А., Гриценко К.А., Лапушкин Н.А., Перетряхина В.Б. Практика применения передвижных автогазозаправщиков

Экологический отчет Группы Газпром за 2016 год

Климентьев А.Ю., Климентьева А.А. Аммиак – перспективное моторное топливо для безуглеродной экономики

Новые интеллектуальные решения в области использования природного газа

Семенцев А.М., Терехов А.Л. Повышение безопасности труда путем инноваций в топливно-энергетическом комплексе

Дунин А.Ю., Горбачевский Е.В., Душкин П.В., Голубков Л.Н., Иванов И.Е. Влияние состава топлива на основе масел растительного происхождения на режим работы электрогидравлической форсунки

В Ульяновске стартует производство тяжелых грузовиков Isuzu

Евстифеев А.А., Никорук И.Ф. Критерии оценки результатов деятельности персонала автомобильных газонаполнительных компрессорных станций

В Свердловской области начались испытания мобильной КриоАЗС

Пронин Е.Н. СПГ на автотранспорте Европы

В Тбилиси на улицы вышли 100 автобусов на КПГ

Муниципальная техника в США переходит на газ

Новая водородная заправка в Германии

Abstracts of articles

Авторы статей в журнале № 4 (58) 2017 г.

№ 5 (59)

«Газпром» построил пятую АГНКС в Курганской области

Алексей Миллер посетил АГНКС «Газпром» в Кирове

Ерохов В.И. Безопасность и эффективность эксплуатации автомобилей на компримированном природном газе

Патрахальцев Н.Н., Ощепков П.П., Лотфуллин Ш.Р. Снижение выбросов неметановых углеводородов с отработавшими газами газового двигателя изменением его активного рабочего объема

Марков В.А., Лобода С.С., Инь Мин. Использование смесей нефтяного дизельного топлива и рыжикового масла в качестве моторного топлива

Балашов М.Л., Евстифеев А.А. Силовая энергетическая установка с атомарным водородным дизельным двигателем

Топливо безграничных возможностей

Будет ли в России переход на электромобили

Битопливный Lada Largus испытание прошел

Audi A4 Avant g-tron едет на метане

Выставка GasSuf: живое общение и взгляд в будущее

Метан для грузовиков и автобусов

Новая мобильная АГНКС компании «ТЕГАС»

«Росатомфлот» заказал в Финляндии проект ледокола на природном газе

Новый автотопливозаправщик Минского автозавода

Биометан от Carrefour

В Астане появилось экологичное топливо для автотранспорта

Первый в мире ледокольный СПГ-танкер

Американские пеллеты могут уйти с европейского рынка

В США создан первый в мире гибридный автозаправщик

Газомоторное топливо в Чехии

Abstracts of articles

Авторы статей в журнале № 5 (59) 2017 г.

№ 6 (60)

Поздравление с Новым годом

Поздравление журналу «Транспорт на альтернативном топливе» в связи с 10-летием со дня выхода в свет первого номера

СПГ для автомагистрального и железнодорожного транспорта

VII Международный научно-практический семинар «Газомоторное топливо. Повышение эффективности производства и использования»

Введена в строй крупнейшая АГНКС в России и Европе

Марков В.А., Нагорнов С.А., Романцова С.В., Неверова В.В., Са Бовэнь. Метилловый эфир рапсового масла как дизельное топливо

Козлов С.И., Люгай С.В. Математическая модель действительного и теоретического циклов дизеля с высоким наддувом

«Газпром» расширит сеть АГНКС на ключевых автомобильных трассах

Евстифеев А.А. Математическое моделирование производственных процессов АГНКС

Капустин А.А., Раков В.А. Сравнение выбросов загрязняющих веществ от автомобилей и различных энергетических установок

Овсянников Е.М., Гайтова Т.Б., Фомин А.П. Эксплуатация автомобильного транспорта на водородном топливе

Терехов А.Л. Шум, как источник профессиональных рисков на предприятиях транспорта и потребления газа

Для специалистов, изучающих вопросы безопасности эксплуатации газобаллонных транспортных средств

GasSuf 2017: больше участников, больше посетителей

Пронин Е.Н. Водородная электричка

Abstracts of articles

Авторы статей в журнале № 6 (60) 2017 г.