



ТРАНСПОРТ

НА АЛЬТЕРНАТИВНОМ ТОПЛИВЕ

МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ
ЖУРНАЛ № 6 (30) 2012
ЖУРНАЛ ВКЛЮЧЕН В ПЕРЕЧЕНЬ ВАК

НАЦИОНАЛЬНАЯ ГАЗОМОТОРНАЯ АССОЦИАЦИЯ



АФФИЛИРОВАНА
С МЕЖДУНАРОДНЫМ ГАЗОВЫМ
СОЮЗОМ



ZK6118HGA CNG (метан)



- от 4 250 000 руб.
- Евро 4
- ОТТС Госстандарта РФ
- Пассажировместимость 81+1 (мест для сидения 23)



Официальное представительство
Zhengzhou Yutong Bus Co., Ltd в РФ

8 800 333 2808

(Звонок по РФ бесплатный)

www.yutong.ru

Реклама



Биотопливо для дизельных двигателей
Альтернативное топливо для газификации
Российский рынок СУГ

Зарегистрирован в Федеральной службе по надзору
в сфере массовых коммуникаций, связи и охраны
культурного наследия.
Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-30114

Учредитель и издатель
НП «Национальная газомоторная
ассоциация» (НГА)

Периодичность 6 номеров в год

Главный редактор
П.Г. Цыбульский
генеральный директор ООО «Газпром ВНИИГАЗ», к.т.н.

Члены редакционной коллегии

Б.В. Будзуляк
председатель Комиссии по использованию при-
родного и сжиженного нефтяного газа в качестве
моторного топлива, д.т.н.

В.И. Ерохов
профессор «МАМИ», д.т.н.

Н.Е. Игнатьева
заместитель главного редактора

Р.З. Кавтарадзе
профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана, д.т.н.

Т.В. Климова
начальник отдела по связям с общественностью и
СМИ ООО «Газпром ВНИИГАЗ»

С.И. Козлов
главный научный сотрудник
Центра по использованию газа
ООО «Газпром ВНИИГАЗ», д.т.н.

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
исполнительный директор НГА

В.Л. Стативко
вице-президент НГА, к.т.н.

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

Редактор
О.А. Ершова

Отдел подписки и распространения
В.А. Ионова

Компьютерная верстка
Ф.А. Игнащенко

Адрес редакции:
115304, Москва, ул. Луганская, д. 11, оф. 304.
Тел./факс: (495) 321-50-44, 321-62-81.
E-mail: transport.1@ngvrus.ru
www.ngvrus.ru

Отпечатано с готовых диапозитивов в ООО «Принт-Лидер»,
117186, Москва, ул. Нагорная, д. 15, корп. 8
Номер заказа
Сдано на верстку 10.11.2012 г.
Подписано в печать 25.11.2012 г.
Формат 60х90 1/8. Тираж 3000 экз. Бумага мелованная.
Печать офсетная, печ. л. 10,5

При перепечатке материалов ссылка на журнал
«Транспорт на альтернативном топливе» обязательна.

Редакция не несет ответственности за достоверность информации,
опубликованной в рекламных материалах.

На обложке:
реклама ООО «СТОПК»

В НОМЕРЕ:

Е.Н. Пронин Поздравление.....	3
Ускорение развития газомоторного рынка в России	4
В.А. Марков, С.Н. Девянин, В.И. Крылов, В.В. Багров Перспективы использования биотоплив в дизельных двигателях	6
А.А. Кугаевский, Р.Ю. Шипков «Виртуальная труба» как способ снижения затрат на газификацию.....	11
Н.Г. Кириллов, А.Н. Лазарев Методологические основы расчета стоимости строительства заглубленных хранилищ СПГ	15
Е.Н. Пронин США: развитие рынка автOMETANA	20
С.А. Порожняков Германия: Водород для автомобилей	21
С.В. Люгай, А.А. Евстифеев Анализ систем автоматизации нефтегазового комплекса, применимых для автомобильных газонаполнительных станций.....	22
М.И. Почукаев, В.И. Молчанинов, Ю.В. Панов, А.А. Назаров Влияние температуры баллонов на расход КПГ по остаточному давлению.....	26
С.П. Семенищев, П.Г. Килин Передвижной автогазозаправщик ПАГЗ 4300-24,5	30
Е.М. Чикишев, И.А. Анисимов Влияние низких температур воздуха на энергетические и экологические параметры газобаллонных автомобилей	32
Е.Н. Пронин Итоги автопробега «Голубой коридор – 2012»	34
С.Н. Ивлев, Г.К. Мирзоев Электромобили ОАО «АВТОВАЗ»	39
А.А. Кецарис, В.И. Духанин Линейный генератор с двигателем внутреннего сгорания со свободным поршнем	42
А.П. Фомин Управление мощностью в системе дополнительной энергетики большегрузного автопоезда.....	49
В.А. Лукшо Математическая модель термодинамического цикла газового двигателя	54
И.К. Александров Использование поездов модульного типа на основе современных электровозов	66
С.А. Григорьев, Д.Г. Бессарабов Твердополимерный электролиз с деполяризацией анода для производства водорода	69
П.В. Прохоров Российский рынок сжиженных углеводородов	72
Время обновления и инноваций.....	76
Авторы статей в журнале № 6 (30) 2012 г.	79

'Alternative Fuel Transport' international science and technology journal, No. 6 (30) 2012

Registered with the Federal Service for Supervision in Mass Communications and Cultural Heritage Protection

Printed Matter Registration Certificate No. FS77-30114

Founder and Publisher

Non-Commercial Partnership National Gas-Vehicle Association (NGVRUS)

Published: 6 issues a year

Editor-in-Chief

Tsybulsky, P.G.

Director General of Gazprom VNIIGAZ, PhD

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

Ignat'eva, N.E.

Deputy Editor-in-Chief

Kavtaradze, R.Z.

Professor of N.E. Bauman's MG TU,

Doctor of Engineering

Klimova, T.V.

acting Head of Public and Mass Media Relations Service of Gazprom VNIIGAZ

Kozlov, S.I.

Deputy Director General for Research of Gazprom

VNIIGAZ, Doctor of Engineering

Markov, V.A.

Professor of N.E. Bauman's MG TU,

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), Candidate of Science

Patrakhaltsev, N.N.

Professor of People's Friendship University of Russia,

Doctor of Engineering

Pronin, E.N.

Executive Director, NGVRUS

Stativko, V.L.

vice-president, NGVRUS, Candidate of Science

Fateev, V.N.

Deputy Director of RNC Kurchatovsky Institute,

Doctor of Chemistry

Editor

Ershova, O.A.

Subscription and Distribution

Department

Ionova, V.A.

Editorial office address:

304 - 11, Luganskaya str., 115304, Moscow

Tel/fax: (495) 321-50-44, 321-62-81

E-mail: transport.1@ngvrus.ru,

www.ngvrus.ru

Order number

Passed for press on 10.11.2012

Endorsed to be printed on 25.11.2012

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

V.A. Markov, S.N. Devyanin, V.I. Krylov, V.V. Bagrov

Perspective usage of biofuels in diesel engines6

A.A. Kugaevskiy, R.Yu. Shipkov

«Virtual Pipe», as Method of Decline of Expenses on Gasification 11

N.G. Kirillov, A.N. Lazarev

Design Procedure of Construction Cost of Underground Storehouses for the Liquefied Natural Gas 15

E.N. Pronin

Development of the US NGV Market 20

S.V. Lugay, A.A. Evstifeev

The analysis of systems of automation of an oil and gas complex, applicable for automobile gas-filled stations 22

M.I. Pochukaev, V.I. Molchaninov, Yu.V. Panov, A.A. Nazarov

Research of Influence Cylinders Temperature on CNG Consumption on Residual Pressure 26

S.P. Semenishchev, P.G. Kilin

Mobile money supply compressed natural gas users 30

E.M. Chikishev, I.A. Anisimov

Influence of Low Air Temperatures on Energy and Environmental Parameters of Bottle-Gas Vehicles32

Eugene Pronin

Blue Corridor-2012: Lessons Learned 34

Development of the EV at JSC «AVTOVAZ»39

A.A. Ketsaris, V.I. Dukhanin

Free piston linear generator. Structure and application perspective42

A.P. Fomin

Power Control in Additional Energy System for Heavy Motor Vehicle 49

V.A. Luksho

Mathematical Model of Thermodynamic Cycle of Gas Engine..... 54

I.K. Alexandrov

Use of Trains of Modular Type on the Basis of Modern Electric Locomotives..... 66

S.A. Grigoriev, D.G. Bessarabov

PEM Electrolysis with Anode Depolarization for Production of Hydrogen 69

P.V. Prokhorov

LPG Market in Russia 72

Contributors to journal issue No. 6 (30) 2012 80





Е.Н. Пронин,
исполнительный директор НГА

Уважаемый Читатель!

Социально-экономическое развитие современного мира невозможно без дальнейшего наращивания глобальной мобильности. Рост объемов перевозки людей и товаров на любые расстояния с высокой скоростью и комфортом ведет к повышению спроса на топливо и усилению негативного воздействия транспортного комплекса на окружающий мир. Вместе с тем научно-технический прогресс открывает все новые и новые возможности повышения экологической безопасности, энергетической эффективности, снижения бюджетной нагрузки транспортного комплекса на локальном, региональном и глобальном уровнях.

Эти вопросы широко обсуждаются на многочисленных форумах, в печатных и электронных СМИ.

Журнал «Транспорт на альтернативном топливе», уже пять лет издаваемый созданным в 1999 году Некоммерческим партнерством «Национальная газомоторная ассоциация» (НГА), посвящен широкому спектру вопросов производства и применения на транспорте традиционных и возобновляемых альтернатив бензину и дизельному топливу: перспективным технологиям; современным экономическим моделям и бизнес-сценариям перехода к альтернативному топливу; синергии традиционных углеводородов и новых энергоносителей; социальным и экологическим преимуществам внедрения альтернативного топлива и негативным последствиям консервативного развития; правовым ограничениям и мерам стимулирования; мировому опыту.

Деятельность по производству и использованию альтернативных видов моторного топлива многогранна. Мультипликативные эффекты газомоторизации проявляются на всех видах транспорта, в автомобильной промышленности, машиностроении, металлургии, приборостроении, сельском хозяйстве, строительстве, коммунальном хозяйстве, нефтегазовом секторе, сфере технического обслуживания, подготовке кадров и образовании.

Важен и социальный аспект проблемы. Массовый перевод транспортной техники на метан позволяет очистить воздух от дизельно-бензинового чада, сохранить здоровье людей, снизить цены на жилье, сократить себестоимость сельскохозяйственных товаров, избавиться от комплекса проблем так называемого северного завоза топлива, пустить сэкономленные на топливе бюджетные

деньги на решение насущных проблем, экспортировать высвобожденную нефть, освоить новые технологии, создать новые производства и рабочие места.

В качестве одного из примеров можно упомянуть следующее: по американским оценкам, коэффициент занятости при газификации автомобильного транспорта США составляет 50/1000 (то есть 50 новых рабочих мест на каждую тысячу новых газовых машин). Для России, где производство газоиспользующего и газозаправочного оборудования развито намного слабее, по оценкам НГА, этот показатель может составить 100/1000.

Лучшей из альтернатив на данном этапе развития является природный газ. Это – единственный на сегодня энергоноситель, одновременно сочетающий в себе высокую экологическую чистоту, технологическую безопасность, огромную ресурсную базу, широкий спектр применения и, наконец, самую низкую стоимость (КПГ в три!!! раза дешевле бензина и дизельного топлива). Коммерческих аналогов природному газу нет.

Россия, по праву считающаяся мировой кладовой природного газа, давно перестала быть лидером в использовании этого бесценного дара природы. Сегодня мы находимся уже на двадцатом месте в мире по численности газовых машин. Завтра, если будем продолжать бездействовать, откатимся в конец списка.

Дело не в том, на каком месте Россия по этому показателю. Хотя, конечно, «за державу обидно». Дело в том, что пренебрегать (а мы именно пренебрегаем) колоссальным потенциалом природного газа для транспорта – значит демонстрировать свою житейскую и хозяйскую «неумность».

Чтобы исправлять это положение, были созданы Национальная газомоторная ассоциация и научно-технический журнал «Транспорт на альтернативном топливе». Журнал, повторимся, издается уже пять лет и внесен в перечень ВАК. Это журнал про умные вещи. Он нуждается в вас, ученые, студенты, аспиранты, инженеры, менеджеры и политики! Ваши статьи, репортажи, информация помогут общему делу улучшения жизни в нашей стране и в нашем мире.

Мы ждем всех вас – авторы, подписчики, рекламодатели!

Мы ждем Вас, Читатель!

**Поздравляем всех с пятилетием журнала
и желаем процветания
в наступающем 2013 году!**

Ускорение развития газомоторного рынка в России

Совет директоров ОАО «Газпром», прошедший 16 октября 2012 г. с участием помощника Президента РФ Эльвиры Набиуллиной и заместителя министра энергетики РФ Павла Федорова, рассмотрел информацию о долгосрочных сценариях развития добычи и потребления газа, а также меры по увеличению производства и поставок СПГ Газпромом на внутренний и внешний рынки.

Правлению ОАО «Газпром» поручено подготовить предложения по актуализации Стратегии ОАО «Газпром» в области производства и поставок СПГ. Кроме того, была рассмотрена информация о развитии рынка газомоторного топлива.

Было отмечено, что важными задачами ОАО «Газпром» на внутреннем рынке сегодня являются значительное расширение газомоторного бизнеса и создание на его основе масштабного рынка сбыта природного газа компании. Эта работа имеет огромное значение и для всего общества в связи с экологичностью и экономичностью газомоторного топлива. Так, перевод автомобилей с бензина на газ позволяет в среднем в пять раз снизить выбросы вредных веществ. Это особенно важно для больших городов, где львиная доля загрязнений воздуха приходится на автомобильный транспорт.

В то же время среди основных проблем развития отечественного рынка газомоторного топлива отмечено отсутствие федерального закона, предусматривающего комплекс мер по стимулированию перевода автотранспорта на газ. В связи с этим Газпром обратился с предложением к Президенту РФ поручить заинтересованным министерствам и ведомствам, нефтяным и газовым компаниям подготовить проект документа, устанавливающего целевые показатели и конкретные меры государственной поддержки газификации автотранспорта. В соответствии с поручением Президента РФ этот вопрос прорабатывается в правительстве РФ.

В Газпроме принято решение с 2013 г. включать в Программы газификации регионов РФ обязательный раздел, касающийся газификации автотранспорта.

Совет директоров поручил правлению продолжить работу по расширению использования природного газа в качестве моторного топлива в России во взаимодействии с государственными органами власти. Правлению также поручено продолжить работу по расширению использования газа как моторного топлива за рубежом. О ходе данной работы совет директоров будет проинформирован в I квартале 2013 г.

Использование природного газа в качестве моторного топлива активно развивается более чем в 80 странах мира. Среднегодовой рост парка автомобильной техники на природном газе составляет 26 %. Ведущие мировые автопроизводители выпускают более 80 моделей газовых автомобилей. Российский парк автомобилей, работающих на природном газе, оценивается примерно в 86 тыс. ед. (численность мирового парка составляет около 15 млн).

В 2011 г. через российские АГНКС было реализовано 361,6 млн м³ КПГ, что на 16,6 млн м³



Новая АГНКС в Республике Алтай

больше, чем в 2010 г. Однако это составляет лишь 18 % проектной производительности российских АГНКС.

Наиболее развитыми региональными рынками по итогам 2011 г. стали Ставропольский и Краснодарский края, Свердловская, Ростовская, Челябинская и Тульская обл., Республика Башкортостан, Кабардино-Балкарская Республика – на них пришлось более половины общего объема реализации КПП в России.

Газпромом подписаны договоры о сотрудничестве в сфере использования природного газа в качестве моторного топлива с Калужской, Орловской, Нижегородской и Тамбовской обл. Региональные законодательные акты, направленные на развитие локальных рынков КПП, приняты в Москве, Ставропольском крае, Свердловской, Тамбовской, Калужской и Саратовской обл., а также в Республике Татарстан.

В настоящее время ведется продвижение газозаправочных мощностей в регионы Восточной Сибири и Дальнего Востока. АГНКС построена в Братске, ведется проектирование метановой заправочной станции в Петропавловске-Камчатском. В перспективе намечено строительство заправок в Хабаровске, Благовещенске, Владивостоке, Южно-Сахалинске.

В июле текущего года в центральном офисе Газпрома прошло межотраслевое совещание о стимулировании развития использования газомоторного топлива. Участниками совещания стали представители руководства профильных министерств РФ, ведущих нефтяных компаний, крупных заводов-производителей автомобильной техники, исполнительной власти субъектов РФ. На совещании была отмечена необходимость развития соответствующей законодательной базы, государственного регулирования процесса перевода автотранспорта на газ и обеспечения синхронизации строительства газозаправочной сети с развитием рынка реализации нефтепродуктов.

На европейском рынке газомоторного топлива Группа «Газпром» представлена в Германии и Чехии. Газпром намерен расширить свое присутствие в данном сегменте в Европе, в том числе за счет строительства или приобретения АГНКС.

Принципиально важной тенденцией на топливном рынке является рост мировой торговли СПГ, который к 2011 г. достиг 25 %. Это обусловлено появлением новых стран-



СПГ-танкер Газпрома во время загрузки

импортеров и формированием новых рынков сбыта СПГ. По оценкам МЭА, в ближайшие 20 лет СПГ обеспечит более половины прироста межрегиональной торговли газом, и к 2030 г. объем его продаж увеличится в два раза, составив 635-745 млрд м³ в год.

Реализуя Стратегию в области производства и поставок СПГ, Газпром укрепит свои позиции крупнейшего поставщика углеводородов на мировом газовом рынке. В рамках Стратегии ведется работа по следующим приоритетным направлениям:

- Расширение рынка сбыта путем наращивания объемов СПГ в экспортном портфеле за счет его производства на Дальнем Востоке РФ и поставок из этих регионов, а также в результате реализации Штокмановского проекта.
- Вхождение в зарубежные СПГ-проекты с целью получения прав на реализацию конечной продукции и развития маркетингового потенциала Группы «Газпром» в области торговли СПГ.
- Развитие производства и поставок СПГ на внутренний рынок в рамках реализации проектов мало- и среднетоннажного СПГ, что позволит обеспечивать газификацию отдаленных от ЕСГ потребителей и развивать розничную инфраструктуру реализации газа в качестве моторного топлива.

По материалам управления информации ОАО «Газпром»

Перспективы использования биотоплив в дизельных двигателях

В.А. Марков,

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

С.Н. Девянин,

профессор МГАУ им. В.П. Горячкина, д.т.н.,

В.И. Крылов,

директор НИИЭМ МГТУ им. Н.Э. Баумана, к.т.н.,

В.В. Багров,

зам. директора НИИЭМ МГТУ им. Н.Э. Баумана, к.т.н.

Показаны преимущества использования в дизелях биотоплив, производимых на основе растительных масел. Приведены результаты экспериментальных исследований дизеля типа Д-245.12С малотоннажного автомобиля ЗиЛ 5301 «Бычок», работающего на смесях дизельного топлива и растительных масел.

Ключевые слова: дизельный двигатель, дизельное топливо, рапсовое масло, метиловый эфир рапсового масла, подсолнечное масло, метиловый эфир подсолнечного масла, смесевое биотопливо.

Perspective Usage of Biofuels in Diesel Engines

V.A. Markov, S.N. Devyanin, V.I. Krylov, V.V. Bagrov

Advantages of diesel engines application of biofuels produced on the basis of vegetable oils are shown. Results of experimental research of a vehicle diesel engine of the type D-245.12S of the small tonnage car ZiL 5301 «Bychok» running on mixture diesel fuel and vegetable oils have been shown.

Keywords: diesel engine, diesel fuel, rapeseed oil, rapeseed oil methyl ester, sunflower oil, sunflower oil methyl ester, mixed biofuel.

Продолжающийся энергетический кризис, прогнозы сравнительно быстрого истощения нефтяных ресурсов, проблемы загрязнения окружающей среды все острее ставят вопросы замены традиционных нефтяных моторных топлив топливами, получаемыми из альтернативных сырьевых ресурсов. Развитие топливно-энергетического комплекса России не привело к решению стоящих в настоящее время острых энергетических проблем. По-прежнему углеводороды являются главным энергетическим ресурсом, а вопросы поиска новых

альтернативных способов получения энергии остаются остро актуальными.

Мировая экономика продолжает развиваться в направлении увеличения потребления энергетических ресурсов. Так, к середине нынешнего столетия рост потребления первичных ресурсов по сравнению с 2010 г. удвоится и составит около 28 млрд т в нефтяном эквиваленте (рис. 1) [1]. При этом в связи с истощением месторождений полезных ископаемых возрастает роль возобновляемых энергетических ресурсов. В частности, к 2050 г.

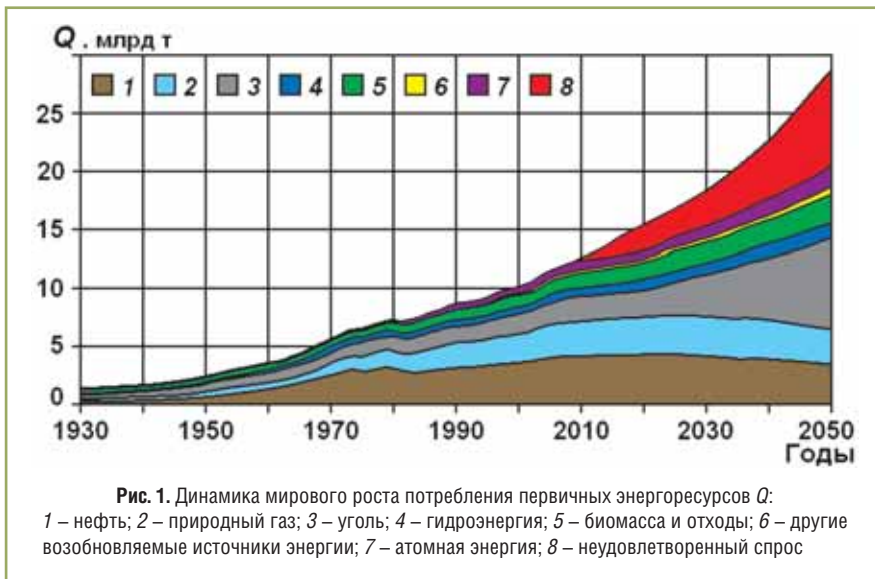
прогнозируется увеличение потребления энергии гидроэлектростанций в 2 раза, энергии, получаемой из биомассы и отходов, в 3 раза, энергии из других возобновляемых ресурсов в 9 раз.

Моторные биотоплива находят все более широкое применение на транспорте и стационарных энергетических установках. При этом для легковых автомобилей, оснащенных двигателями с принудительным воспламенением, в качестве моторного топлива наибольшее использование получил биоэтанол, а для транспортных и стационарных установок с дизельными двигателями – топлива, получаемые из различных растительных масел и животных жиров.

Растительные масла и их смеси с нефтяным дизельным топливом могут использоваться в качестве моторных топлив в агропромышленных комплексах, где они непосредственно вырабатываются. Это экономически оправданно из-за отсутствия торговых наценок и расходов на их транспортировку и переработку.

Для централизованного снабжения городского автотранспорта топливом целесообразно использование продуктов переработки растительных масел – метиловых, этиловых или бутиловых эфиров растительных масел, называемых биодизелем или биодизельным топливом. Эти эфиры имеют физико-химические свойства, достаточно близкие к свойствам традиционных нефтяных дизельных топлив, что позволяет применять их в дизельных двигателях без переоснащения и модернизации последних. Моторные топлива получают из различных растительных масел – рапсового, подсолнечного, кукурузного, соевого, пальмового, пальмоядрового, арахисового, хлопкового и др. [2, 3].

Наиболее перспективной с точки зрения производства моторных топлив масличной культурой считается озимый рапс [2]. Рапс – сельскохозяйственная культура, хорошо приспособленная к умеренному климату нашей



страны, произрастает в Черноземье, Нечерноземье, Сибири, Алтайском крае, на Урале и Дальнем Востоке. В последнее десятилетие XX в. посевы рапса в России занимали 112...276 тыс. га, или 0,10...0,27 % всех посевных площадей сельскохозяйственных культур (4 % посевных площадей масличных культур). Производство семян рапса в эти годы увеличилось с 97 до 180 тыс. т. В начале нового тысячелетия посевные площади, отведенные в России под рапс, стали быстро увеличиваться.

В условиях Российской Федерации весьма привлекательным представляется также использование подсолнечного масла для производства биодизельного топлива. Если в мировом производстве растительных масел ведущее место занимают соевое и рапсовое масла, то в России наиболее распространенным растительным маслом является подсолнечное: объем его производства превышает 80 % общего объема производства растительных масел. Это масло вызывает дополнительный интерес еще и потому, что производство биодизельного топлива может быть организовано из отработанного фритюрного подсолнечного масла, широко применяемого в пищевой промышленности и системе общественного питания.

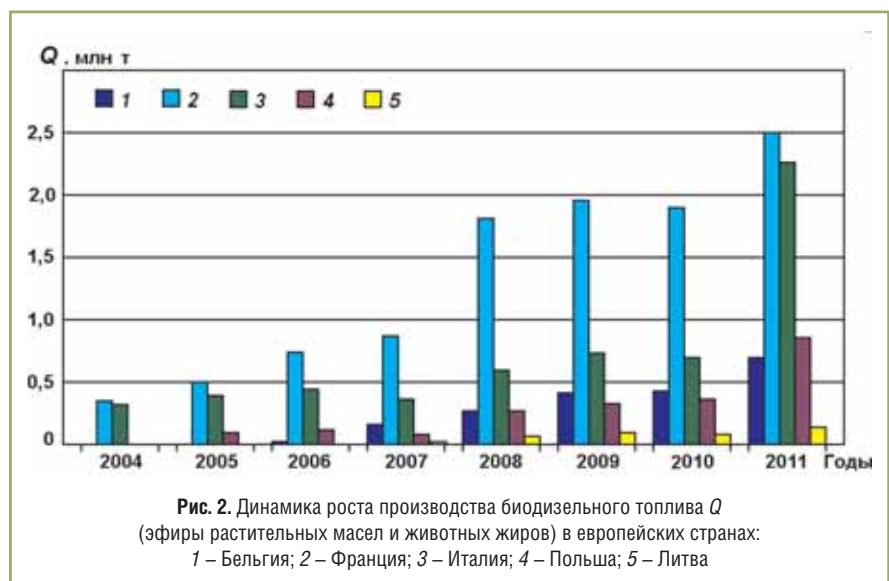
В странах Евросоюза наблюдается ежегодное увеличение производства биотоплив. По оценкам журнала Oil World, только в Германии ежемесячно около 80 тыс. т рапсового масла (PM) используется как прямой заменитель моторного топлива. И это без учета еще более значительных объемов его потребления отраслью для производства метилового эфира рапсового масла (МЭРМ). Показательны данные о направлениях реализации биодизельных топлив в Германии [4]. В 2006 г. сбыт биодизельного топлива (метилвые эфиры растительных масел) в Германии составил 2,5 млн т, в том числе 1,01 млн т было использовано как примесь к нефтяному

дизельному топливу и 0,5 млн т реализовано через бензоколонки для легковых и грузовых автомобилей. Кроме этого, в качестве моторного топлива был использован 1 млн т рапсового масла.

В странах Евросоюза наибольшее применение в качестве моторных топлив для дизельных двигателей нашли сложные метиловые эфиры растительных масел [4, 5]. Производство таких биодизельных топлив продолжает расширяться: в 2005 г. объем его производства в странах Евросоюза составил около 3,5 млн т, в 2009 г. его выпуск достиг 12 млн т, а в 2011 г. было произведено уже около 18 млн т этого топлива (рис. 2) [1].

Одним из перспективных путей оздоровления отечественной экономики может стать постепенное частичное (а в долгосрочной перспективе и полное) замещение ископаемых энергоносителей энергоносителями растительного происхождения. Этому способствует исторически сложившаяся ориентация России на сельскохозяйственное производство и наличие плодородных земель для выращивания сырья, необходимого для получения биотоплив.

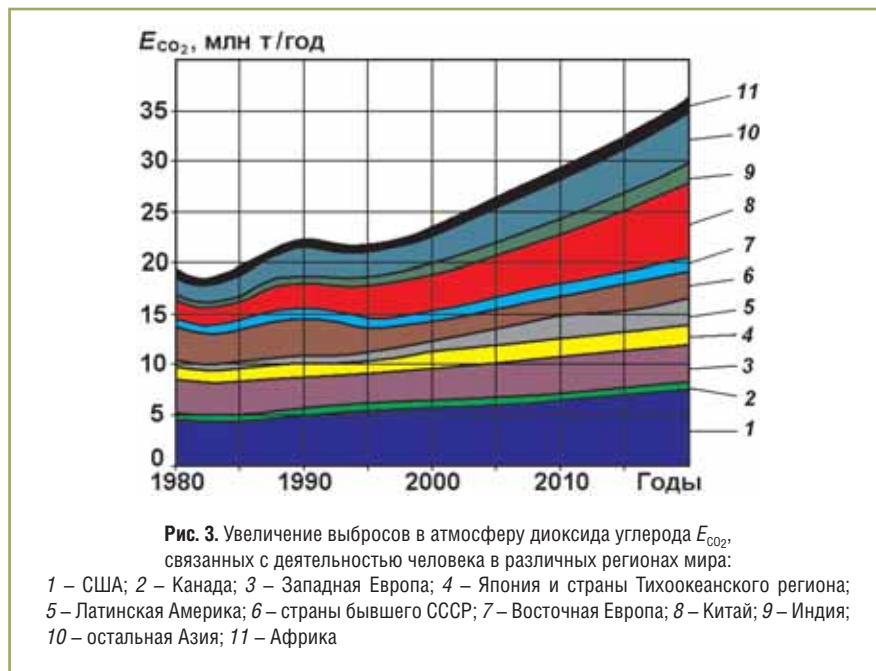
Однако негативные для сельского хозяйства явления, среди которых отток населения в города, снижение занятости сельского населения и



сокращение пахотных земель, привели к потере трети плодородной земли в России. Более 40 млн га выведено из оборота [1]. Для сравнения, по оценкам журнала Oil World, в настоящее время в странах ЕС рапсом было засеяно только около 7 млн га, а сельхозугодья в нашей стране насчитывают более 400 млн га, что свидетельствует об огромном потенциале России в области производства биотоплив.

Наличие больших площадей пахотных земель, пригодных для выращивания масличных культур, а также динамика увеличения урожайности подсолнечника, озимого и ярового рапса определяют потенциальную возможность России стать одним из лидирующих государств по производству биотоплива. Более того, для выращивания этого сырья могут быть использованы земли, непригодные для производства традиционной сельскохозяйственной продукции. Это земли, прилегающие к автотрассам, вредным производствам, а также расположенные в экологически неблагоприятных зонах. Использование этих земель значительно увеличит площади, отведенные для выращивания сельскохозяйственных культур, используемых для производства биотоплив. Широкомасштабное производство этих биотоплив позволит решить проблему занятости сельского населения и обеспечения гарантированных устойчивых заработков в сельской местности, поскольку спрос и цены на энергоресурсы практически непрерывно растут.

На современном этапе развития энергетики в целом и двигателестроения в частности одной из острейших проблем является уменьшение выбросов в окружающую среду различных токсичных компонентов отработавших газов (ОГ). Причем основным источником токсичных выбросов остается транспорт [5]. Производство и использование моторных топлив растительного происхождения являются важным фактором экологической



безопасности России. У этой проблемы есть несколько аспектов.

В настоящее время особую значимость приобретает сокращение выбросов в окружающую среду углекислого газа (диоксид углерода) CO_2 . Это объясняется заметным повышением его содержания в атмосфере, вызванного быстрым ростом промышленного производства и резким увеличением количества транспортных средств. В настоящее время в атмосферу ежегодно выбрасывается более 25 млн т углекислого газа, а к 2020 г. этот показатель достигнет 35 млн т (рис. 3) [2]. Углекислый газ не оказывает непосредственного токсического действия на организм человека, но при его повышенном содержании в атмосфере создается парниковый эффект, приводящий к так называемому тепловому загрязнению окружающей среды.

При использовании топлив из сырья растительного происхождения достигается кругооборот углекислого газа и кислорода в атмосфере, поскольку при сгорании этих топлив выделяется такое количество CO_2 , которое было потреблено из атмосферы при выращивании сырья для производства биотоплив.

Следует отметить и другие факторы, позволяющие улучшить экологическую ситуацию в стране при широком использовании биодизельного топлива. Благодаря незначительному содержанию серы (10...15 ppm) и отсутствию полициклических ароматических соединений в растительных маслах выбросы ОГ дизелей, работающих на биотопливе, практически не содержат оксидов серы, которые, попадая в атмосферу, образуют кислоты, способствующие выпадению кислотных дождей, и полициклических ароматических углеводородов (ПАУ), являющихся канцерогенами и вызывающих онкологические заболевания. При попадании биодизельного топлива в почву и водные бассейны происходит его быстрое разложение в течение нескольких недель.

К другим экологическим факторам можно отнести возможность снижения выбросов с ОГ дизелей их основных токсичных компонентов, лимитированных современными нормативными документами, – оксидов азота NO_x , монооксида углерода CO, несгоревших углеводородов CH и сажи (дымность ОГ), или твердых частиц. Для анализа показателей токсичности ОГ дизельного двигателя

при работе на биодизельных топливах проведены экспериментальные исследования дизеля Д-245.12С (4 ЧН 11/12,5), работающего на смесях нефтяного дизельного топлива и различных биотоплив на основе растительных масел [6-9]. Указанный дизель выпускается Минским моторным заводом (ММЗ) для малотоннажных грузовых автомобилей ЗиЛ-5301 «Бычок», а его модификации – для автобусов Павловского автомобильного завода (ПАЗ) и тракторов «Беларусь» Минского тракторного завода (МТЗ).

Результаты исследований (рис. 4) свидетельствуют о том, что наибольший эффект от использования смесей нефтяного дизельного топлива и биотоплив на основе растительных масел получен по дымности отработавших газов K_x . В частности рост концентрации метилового эфира рапсового масла $C_{МЭРМ}$ в смеси приводит к значительному снижению дымности ОГ K_x (см. рис. 4в). Так, на режиме максимальной мощности ($n=2400 \text{ мин}^{-1}$) при росте $C_{МЭРМ}$ с 0 до 60 % дымность K_x монотонно снижалась примерно в 2,6 раза (с 18 до 7 % по шкале Хартриджа).

Результаты определения удельных массовых выбросов нормируемых токсичных веществ в атмосферу на режимах 13-ступенчатого испытательного цикла Правил 49 ЕЭК ООН – оксидов азота e_{NOx} , монооксида углерода e_{CO} , несгоревших углеводородов e_{CH} (рис. 5) – свидетельствуют о заметной зависимости выбросов этих токсичных компонентов от состава смесевых биотоплив.

В частности, при увеличении содержания МЭРМ в смеси с 0 до 20 % интегральные выбросы оксидов азота e_{NOx} на режимах 13-ступенчатого цикла снизились с 7,286 до 6,542 г/(кВт·ч), то есть на 10,2 % (рис. 5в). При дальнейшем увеличении $C_{МЭРМ}$ до 40 и 60 % отмечен некоторый рост e_{NOx} до значений соответственно 7,441 и 7,759 г/(кВт·ч), превышающих эти выбросы при работе на ДТ,

которые составляют 7,286 г/(кВт·ч). При росте содержания МЭРМ в смеси с 0 до 60 % отмечено монотонное снижение удельных массовых выбросов монооксида углерода e_{CO} с 2,834 до 1,932 г/(кВт·ч), то есть почти в 1,5 раза.

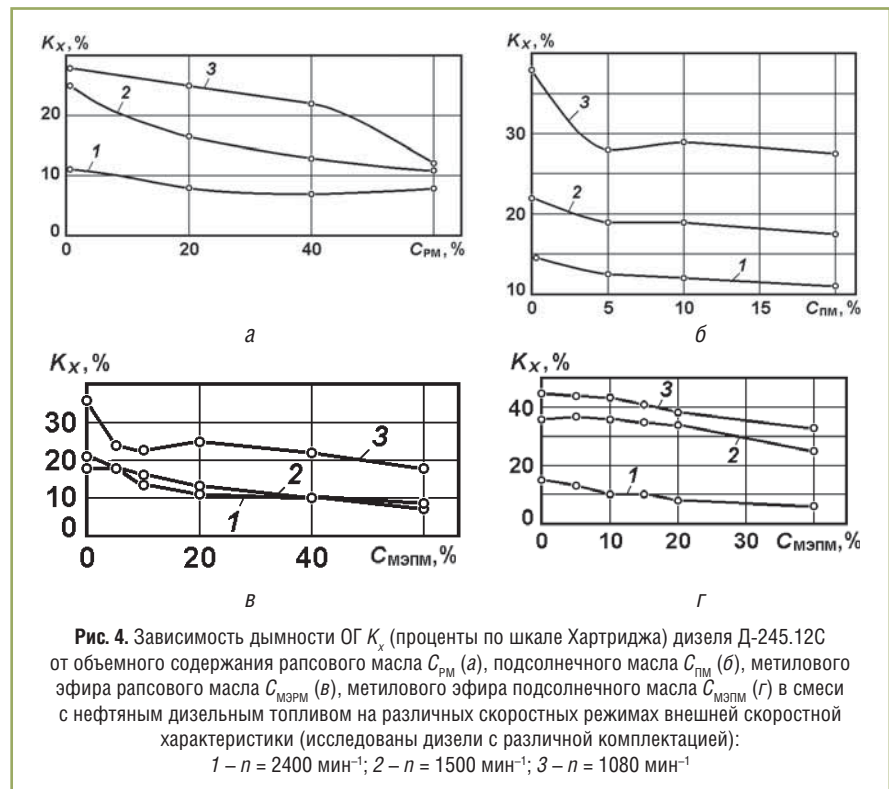
Зависимость выбросов углеводородов СН от содержания МЭРМ в смеси имеет более сложный характер. При увеличении $C_{МЭРМ}$ с 0 до 5 % выброс e_{CH} уменьшился с 0,713 до 0,626 г/(кВт·ч), то есть на 12,2 %, а при дальнейшем увеличении $C_{МЭРМ}$ до 20 % выброс e_{CH} возрос до 0,727 г/(кВт·ч), то есть практически до исходного значения $e_{\text{CH}}=0,713 \text{ г/(кВт·ч)}$. С ростом $C_{МЭРМ}$ до 40 и 60 % выброс e_{CH} вновь несколько уменьшился до 0,692 и 0,681 г/(кВт·ч) соответственно. Но в целом влияние содержания МЭРМ в смеси на выброс углеводородов не очень значительно.

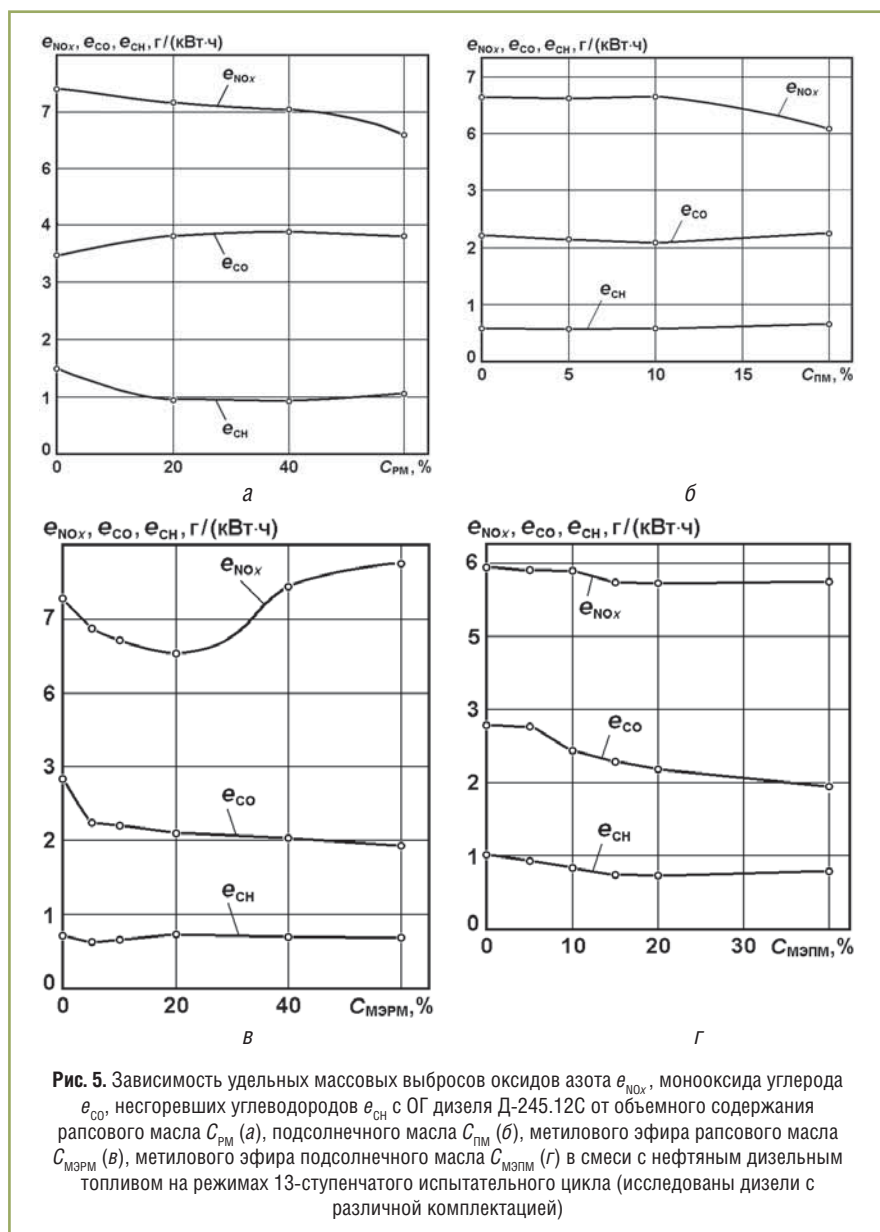
Результаты исследований свидетельствуют о том, что даже небольшая добавка (5...10 %) растительных масел или их эфиров, содержащих около 10 % кислорода, в нефтяное топливо позволяет заметно улучшить экологические

свойства такого смесевых биотоплива. Поэтому биотоплива, получаемые из растительных масел, можно рассматривать как кислородсодержащие присадки (оксигенаты), значительно улучшающие качество смесевых биотоплив. В связи с этим на современном этапе развития двиглестроения представляется целесообразным частичное замещение, а в более отдаленной перспективе – и полная замена нефтяных топлив биотопливами.

При этом следует отметить, что полное замещение нефтяных топлив растительными маслами или их производными (метилевые или этиловые эфиры растительных масел) в ближайшей перспективе маловероятно. Это может быть проиллюстрировано следующим примером.

Как отмечено выше, наиболее перспективной с точки зрения производства моторных топлив масличной культурой считается озимый рапс, средняя урожайность семян которого в нашей стране составляет в среднем 1,6 т/га. При такой урожайности из 160 т семян рапса, собранных с 1 км² пахотных земель, можно произвести





примерно 55 т МЭРМ. В настоящее время в России потребление дизельного топлива составляет около 55 млн т [2]. Для производства такого объема МЭРМ необходимо засеять рапсом 1 млн км² пахотных земель. Для полного удовлетворения потребностей в дизельном топливе в России необходимо использовать под посе- вы рапса около 80 % всех пахотных земель. Но следует учитывать имеющуюся тенденцию повышения урожайности рапса и других масличных культур, возможность вовлечения в севооборот земель, непригодных для выращивания пищевых культур, а также возможность использования при

производстве биотоплив низкоскоростных, загрязненных и просроченных растительных масел.

Реальным резервом для получения биотоплив являются фритюрные масла, использованные в системе городского общественного питания и подлежащие утилизации. Эта сырьевая база достаточно обширна. Например, в Японии ежегодные отходы фритюрных растительных масел составляют 400...600 тыс. т [2]. Все эти факторы создают предпосылки для дальнейшего наращивания производства биотоплив для транспорта. Но для этого необходимы изменение структуры сельскохозяйственного

производства, финансирование с участием государства строительства предприятий по производству биотоплива и значительные льготы производителям и потребителям биотоплива.

Литература

1. **Марков В.А., Багров В.В., Девянин С.Н.** Необходимость и перспективы использования моторных топлив растительного происхождения // Грузовик. – 2012. – № 7. – С. 38-47.
2. Использование растительных масел и топлив на их основе в дизельных двигателях / В.А. Марков, С.Н. Девянин, В.Г. Семенов и др. – М.: ООО НИЦ «Инженер», 2011. – 536 с.
3. **Льотко В., Луканин В.Н., Хачиян А.С.** Применение альтернативных топлив в двигателях внутреннего сгорания. – М.: Изд-во МАДИ (ТУ), 2000. – 311 с.
4. Биоэнергетика: Мировой опыт и прогнозы развития / Л.С. Орсики, Н.Т. Соколин, В.Ф. Федоренко и др. Под ред. В. Ф. Федоренко. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2008. – 404 с.
5. **Григоревич Д.Н.** Применение биотоплива на железнодорожном транспорте // Транспорт на альтернативном топливе. – 2010. – № 1. – С. 59-65.
6. **Коцарь Ю.А., Головащенко Г.А., Плужников С.В. и др.** Новые источники сырья для биодизеля // АГЗК+АТ. – 2011. – № 4. – С. 23-24.
7. **Марков В.А., Баширов Р.М., Габитов И.И.** Токсичность отработавших газов дизелей. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 376 с.
8. **Марков В.А., Шустер А.Ю., Девянин С.Н.** Работа дизелей на смесях дизельного топлива и метилового эфира рапсового масла // Транспорт на альтернативном топливе. – 2009. – № 4. – С. 33-37.
9. **Марков В.А., Стремяков А.В., Девянин С.Н.** Работа дизелей на смесях дизельного топлива и рапсового масла // Транспорт на альтернативном топливе. – 2009. – № 5. – С. 22-28.
10. **Марков В.А., Девянин С.Н., Маркова В.В.** Использование подсолнечного масла в качестве топлива для дизелей // Транспорт на альтернативном топливе. – 2010. – № 5. – С. 42-47.
11. **Марков В.А., Девянин С.Н., Нагорнов С.А., Акимов В.С.** Биодизельные топлива из различных сырьевых ресурсов // Транспорт на альтернативном топливе. – 2011. – № 3. – С. 25-31.

«Виртуальная труба» как способ снижения затрат на газификацию

А.А. Кугаевский,

директор ООО «Центр инвестиционных исследований,
экономической экспертизы и разработки проектов»,
к.э.н.,

Р.Ю. Шипков,

исполнительный директор ООО «Сахаметан»

Рассмотрено применение компримированного природного газа для газификации небольших населенных пунктов, расположенных до 100 км от действующей АГНКС, где в ближайшие годы не планируется строительство подводных газопроводов.

Ключевые слова: «виртуальная труба», метановоз, дожимной компрессор, блок редуцирования, блок аккумуляторов.

«Virtual Pipe», as Method of Decline of Expenses on Gasification

A.A. Kugaevskiy, R.Yu. Shipkov

Application of the compressed gas for gasification of small settlements located a to 100 km from operating station, where building of tricking into gas pipelines is not planned in the nearest years.

Keywords: «virtual pipe», compressor, block of reducing, block of accumulators.

Значительные запасы природного газа в Республике Саха (Якутия) – исходного сырья для получения компримированного газа (КПГ), – надежная сеть магистральных газопроводов, успешно реализуемая программа строительства магистральных газопроводов, сравнительно низкая цена и значительные экологические преимущества в сравнении с традиционными видами нефтяных топлив делают КПГ универсальным горючим и энергоносителем.

Введенная в эксплуатацию в мае 2007 г. автомобильная газонаполнительная компрессорная станция (АГНКС) в г. Якутске достигла следующих показателей:

- проектная выработка КПГ 1 140 м³/ч (27 тыс. м³/сут);
- заправка до 150 автомобилей в сутки;
- объем заправки 5,5...6 тыс. м³/сут;
- средняя загруженность АГНКС 20 % (по России 8...17 %);
- объем реализации КПГ в 2011 г. 1,64 млн м³ (по России 1...2 млн м³ на одну АГНКС);
- число газобаллонных автомобилей (ГБА), обслуживаемых на АГНКС, – 421 (по России в среднем на одну АГНКС приходится 401 ГБА);
- расход газа на одно АТС 4,408 тыс. м³/год (по России 3,325 тыс. м³/год).

Эти цифры показывают, что за 5,5 года эксплуатации АГНКС (при отсутствии на начальном этапе работающего на КПГ автотранспорта) по отдельным показателям достигнут, а в некоторых случаях и превышен, среднероссийский уровень. В целом газификация автотранспорта с каждым годом все более расширяется. В 2012 г. для повышения надежности обеспечения потребителей компримированным природным газом начато строительство АГНКС-2 в Якутске. В то же время резко выраженная суточная неравномерность загрузки АГНКС по обслуживанию автотранспорта заставила искать пути решения проблемы использования избыточной мощности действующей и новой станций по производству КПГ.

Территория Республики Саха (Якутия) с населением около 1 млн человек занимает более 3 млн км², что составляет 1/5 часть территории России. При таких масштабах территории и расстояний прокладка трубопроводов для газификации населенных пунктов республики требует больших инвестиций, что при ограниченных государственных вложениях становится трудно разрешаемой проблемой. Строительство газопроводов и газификация отдаленных пунктов на коммерческой основе тем более проблематична, так как сдерживается низкой эффективностью инвестиций в связи с малыми объемами

потребления газа и низкой платежеспособности потребителей.

Высокая стоимость строительства магистральных и межпоселковых газопроводов, с одной стороны, настоятельное требование максимально возможного охвата газификацией населенных пунктов, отдаленных от магистрального газопровода, а также изучение опыта газификации в некоторых зарубежных странах (Аргентина), с другой стороны, подсказали решение указанных проблем в их взаимосвязи. Был предложен вариант решения проблемы – организовать доставку в эти пункты компримированного, а в перспективе сжиженного (СПГ) природного газа с использованием автомобильного транспорта. В настоящее время разработано ТЭО пилотного проекта беструбного газоснабжения с. Магарас, находящегося в 100 км от материнской АГНКС и связанного с ней грунтовой дорогой, которая в 2013 г. будет заасфальтирована.

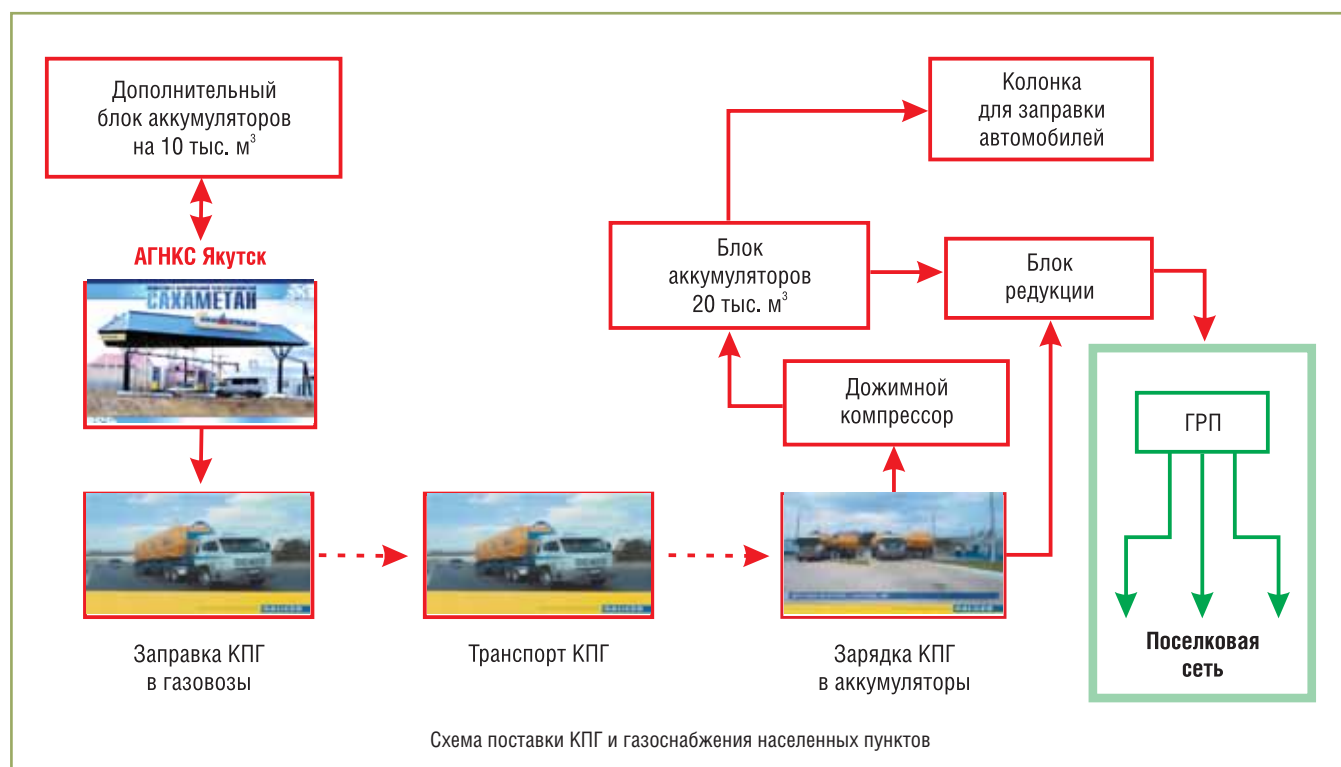
При определении эффективности газификации населенных пунктов сетевым природным газом путем строительства газопровода-отвода от магистрального трубопровода или организации производства и доставки потребителям компримированного природного газа решающими стали

два фактора: расстояние от магистрального газопровода до населенного пункта и объем потребления газа, обусловленный численностью населения. Эффективность газификации на примере с. Магарас (Горный улус) рассчитана для двух вариантов. Комплекс производства КПП рассматривается на базе действующей АГНКС ООО «Сахаметан», откуда компримированный природный газ планируется доставлять автотранспортом в указанный пункт потребления. При расчетах были учтены следующие данные.

Численность населения, чел.	960
Отапливаемая площадь, м ²	
жилая	17 300
нежилая.....	1 200
Объем природного газа, тыс. м ³ /год	
для котельных.....	2 070
для населения.....	2 520
Общий расход природного газа, тыс. м ³ /год	
расчетный	4 590
по данным МЭ и ПП РС (Я) *	1 800

* Вариант по данным Министерства экономики и промышленной политики Республика Саха (Якутия) рассчитан на 1000 чел.

Стоимость строительства внутрипоселковых сетей газопроводов от систем хранения КПП



принимается равной стоимости строительства поселковых сетей газопроводов от ГРС, поэтому в сравнительном анализе они учитываться не будут.

Сравнительный анализ параметров по двум вариантам газификации проведен по следующим основным критериям:

- инвестиции в капитальное строительство;
- эксплуатационные затраты (ремонт и обслуживание оборудования);
- продолжительность строительства.

Вариант 1.

Газификация магистральным газом путем строительства газопровода-отвода Якутск – Магарас

Исходные данные:

- длина – 100 км;
- диаметр – 159 мм;
- средняя стоимость строительства 1 км газопровода – 11,317 млн руб.;
- эксплуатационные затраты на содержание 1 км – 57 тыс. руб./год;
- продолжительность строительства 1 км – 1 мес.

Вариант 2.

Газификация с использованием КПГ, в перспективе СПГ (рисунок)

Исходные данные:

- использование действующей АГНКС ООО «Сахаметан» с участком производства, хранения и отгрузки КПГ, включая транспортный комплекс;
- строительство в с. Магарас газораспределительного пункта (ГРП), включающего элементы оборудования и обустройства.

Для организации снабжения с. Магарас компримированным природным газом необходимо приобрести дополнительное оборудование и провести обустройство территории (табл. 1).

Кроме того, были учтены следующие временные показатели:

Время дооборудования комплекса КПГ (заказ, изготовление, монтаж и испытание), мес. 4

Продолжительность 1 рейса

Якутск–Магарас–Якутск, ч.....7

Число рейсов в год362

Основные сравнительные экономические показатели газификации с. Магарас приведены в табл. 2.

Таблица 1

Оборудование	Стоимость, млн руб.
Блок аккумуляторов КПГ для АГНКС вместимостью 10 тыс. м ³	10
Прицепы-метановозы вместимостью 12 680 м ³ каждый, 3 ед.	13,8 × 3 = 41,4
Автомобили-тягачи, 2 ед.	3 × 2 = 6
Блок аккумуляторов для установки на входе в с. Магарас вместимостью 10 тыс. м ³ , 2 ед.	10 × 2 = 20
Блок редуцирования для понижения давления с 25 до 0,3 МПа для подачи на ГРП	10
Колонка заправочная для с. Магарас	1
Дожимной компрессор	2
Операторная	1
Благоустройство территории станции с. Магарас: вертикальная планировка, асфальтирование, устройство навеса, посадка растений	3
Всего	94,4

Таблица 2

Вариант газификации	Затраты, млн руб.		Продолжительность строительства, лет
	инвестиционные	эксплуатационные	
Строительство газопровода	1 131,7	5,7	8,3...9
Создание комплекса КПП с использованием действующей АГНКС ООО «Сахаметан»	94,4	3	0,3

Таблица 3

Разность затрат = труба - "виртуальная труба"											
Потребление тыс. м3	Дальность, км										
	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
2 000	- 7	0	14	29	43	57	72	86	100	114	129
3 000	- 9	- 2	12	26	41	55	69	83	98	112	126
5 000	- 14	- 7	8	22	36	50	64	78	92	107	121
10 000	- 25	- 18	- 4	10	24	38	52	66	80	93	107
20 000	- 46	- 40	- 26	- 13	0	14	27	41	54	67	81
30 000	- 68	- 62	- 49	- 36	- 23	- 10	2	15	28	41	54
40 000	- 90	- 84	- 72	- 59	- 47	- 34	- 22	- 10	3	15	27
50 000	- 112	- 106	- 94	- 82	- 70	- 59	- 47	- 35	- 23	- 11	1
60 000	- 134	- 128	- 117	- 105	- 94	- 83	- 71	- 60	- 49	- 37	- 26
70 000	- 156	- 150	- 139	- 129	- 118	- 107	- 96	- 85	- 74	- 64	- 53
80 000	- 177	- 172	- 162	- 152	- 141	- 131	- 121	- 110	- 100	- 90	- 80
90 000	- 199	- 194	- 185	- 175	- 165	- 155	- 145	- 136	- 126	- 116	- 106
100 000	- 221	- 216	- 207	- 198	- 189	- 179	- 170	- 161	- 151	- 142	- 133

Примечание. Разность затрат приведена в млн руб.

Итоговые результаты укрупненных расчетов по основным экономическим показателям газификации с Магарас компримированным природным газом по сравнению с вариантом строительства газопровода показывают следующее:

- капитальные затраты ниже в 12 раз;
- эксплуатационные затраты ниже в 1,9 раза;
- срок строительства меньше в 30 раз.

Данная схема газоснабжения населенных пунктов, удаленных от магистральных газопроводов, может быть применена в других улусах. Результаты сравнительной оценки эффективности традиционного трубопровода и «виртуальной трубы» приведены в табл. 3. Общая закономерность – чем больше удаление потребителя от магистрального трубопровода и меньше объем потребления, тем выше эффективность «виртуальной трубы».

Данная таблица показывает диапазон эффективных решений по применению технологии «виртуальной трубы» в реальных условиях республики, а также в современных стоимостных параметрах эксплуатационных затрат и инвестиций.

В перспективе при переводе населенных пунктов на газоснабжение от магистральных газопроводов сети низкого давления объектов, газифицированных от автономных установок, будут готовы для приема магистрального газа. Газопроводы-отводы сразу загружаются на проектную мощность, а высвобождаемые газобаллонные установки передаются на другие объекты. Кроме перечисленных выше преимуществ, существенным фактором является повышение загрузки АГНКС, которые в настоящее время используются по объему реализуемого газа в большинстве случаев до 20 %.

Методологические основы расчета стоимости строительства заглубленных хранилищ СПГ

Н.Г. Кириллов,
старший научный сотрудник ВИТИ, д.т.н.,
А.Н. Лазарев,
заместитель начальника ВИТИ, к.т.н.

В статье рассмотрены проблемы строительства стационарных заглубленных хранилищ сжиженного природного газа (СПГ). Отмечено, что заглубленные хранилища СПГ отличаются более высокой безопасностью при аварийных ситуациях и эксплуатации. Авторами впервые в России разработана методика расчета стоимости строительства заглубленных хранилищ СПГ, которая учитывает особенности создания стеновых, крышных конструкций и фундаментов заглубленных изотермических криогенных хранилищ.

Ключевые слова: сжиженный природный газ (СПГ), заглубленные криогенные хранилища, безопасность при аварийных ситуациях, стоимость строительства заглубленных хранилищ.

Design Procedure of Construction Cost of Underground Storehouses for the Liquefied Natural Gas

N.G. Kirillov, A.N. Lazarev

Problems of construction of stationary underground storehouses for the liquefied natural gas are considered in the paper. It is marked, that underground storehouses for LNG are characterized for higher safety at emergencies and operation. For the first time in Russia authors develop a design procedure of construction cost of underground storehouses for SPG. The offered technique takes into account features of creation of walls and cover designs and the bases of underground of isothermal cryogenic storehouses.

Keywords: liquefied natural gas (LNG), underground cryogenic storehouses, safety at emergencies, cost of construction of underground cryogenic storehouses.

Все возрастающая роль природного газа в системах топливной энергетики привела в середине прошлого века к интенсивному развитию современной инфраструктуры и рынка сжиженного природного газа. В настоящее время сектор СПГ – один из самых динамичных в энергетической отрасли. Мировое потребление сжиженного газа растет на 10 % в год, тогда как обычного газопроводного – только на 2,4 %. Согласно прогнозам экспертов, в 2020 г. доля СПГ в мировой торговле газом составит около 35 % (в 1970 г. – 3 %), а в 2030 г. уже достигнет 60 % [1].

Говоря о перспективах развития производства СПГ в России, необходимо подчеркнуть, что в XXI в. все основные российские газовые месторождения будут располагаться в неблагоприятных для строительства газопроводов районах (Баренцево море, шельф Карского моря, о. Сахалин и т.д.), что обуславливает необходимость строительства заводов по производству сжиженного природного газа в регионах перспективных месторождений (рис. 1). Морская добыча газа становится основой развития газовой промышленности России, поскольку крупнейшие российские проекты по увеличению добычи газа связаны с использованием потенциала континентального шельфа [2, 3].

Так, первый отечественный завод по производству СПГ был запущен в 2009 г. на юге о. Сахалин. Он состоит из двух технологических линий производительностью 4,8 млн т СПГ в год каждая (рис. 2).

С вводом в эксплуатацию новых российских заводов СПГ не только расширится география поставок отечественного газа за рубеж, но также может существенно увеличиться рынок внутренних потребителей, поскольку планируемые к строительству заводы СПГ расположены непосредственно на территориях, отнесенных к регионам северного завоза [4].



Рис. 1. Схема расположения заводов СПГ в России:
1 – Балтийский проект завода (Усть-Луга); 2 – Ямальский проект завода СПГ; 3 – Штокмановский проект завода СПГ; 4 – завод СПГ на о. Сахалин



Рис. 2. Завод СПГ на о. Сахалин

Северный завоз – это комплекс ежегодных государственных мероприятий по обеспечению территорий Крайнего Севера, Сибири, Дальнего Востока и европейской части России основными, жизненно важными товарами (прежде всего, продовольствие и нефтепродукты) в преддверие зимнего сезона. К данным территориям относится около 60 % площади России. Северный завоз в той или иной степени обеспечивает 21 субъект Российской Федерации. На этих территориях живет около 20 млн человек, располагается третья часть мировых запасов никеля, десятая часть меди и кобальта. Здесь находится большинство российских месторождений алмазов, золота, почти половина деловой древесины, около 80 % запасов нефти, практически весь природный газ с учетом месторождений на шельфе морей, прилегающих к побережью.

В связи с этим при строительстве заводов СПГ на континентальных шельфах Ямала, Баренцева моря и Дальнего Востока, по мнению авторов, появляется реальная возможность заменить традиционные дорогостоящие энергоносители, доставляемые с большой земли, и решить проблемы автономного энергоснабжения удаленных регионов России – Крайнего Севера, Карелии, Дальнего Востока, Камчатки, Хабаровского края и др. Суть предлагаемой технологии подразумевает доставку сжиженного природного газа от строящихся заводов СПГ к прибрежным поселкам и удаленным населенным пунктам с использованием при этом самых различных видов местного транспорта – малые морские и речные каботажные танкеры или специальные дорожные трейлеры и контейнеровозы.

По оценкам отечественных специалистов, кроме территорий, охваченных северным завозом, около 50 % населенных пунктов, расположенных в центральных районах России и нуждающихся в газификации, экономически целесообразно обеспечивать газовым топливом в виде СПГ. В первую очередь это касается населенных пунктов, расположенных на значительных расстояниях от магистральных газопроводов или вне зоны действия

газораспределительных станций. При расстоянии от магистрального газопровода до потребителя более 40 км приведенные затраты на газоснабжение таких объектов с помощью СПГ оказываются ниже, чем для сетевого газа. По расчетам ОАО «Корпорация «Компомаш», средние приведенные затраты, связанные с созданием инфраструктуры газоснабжения, на 1 км составляют: для сетевого газа (трубопроводный вариант) – 20 тыс., а для технологий СПГ – 1,85 тыс. долл. США. Причем преимущества СПГ нарастают с уменьшением мощности потребителя и увеличением удаленности от источника газа.

ОАО «Газпром» совместно с Министерством топлива и энергетики РФ и Росавиакосмосом разработало Концепцию освоения сжиженного природного газа в качестве энергоносителя в отраслях хозяйства Российской Федерации для определения основных направлений работ по СПГ. В ближайшем будущем в России СПГ предполагается широко использовать для коммунального газоснабжения населенных пунктов, в качестве котельного топлива на предприятиях топливно-энергетического комплекса (ТЭК), для создания систем резервирования газа, в качестве моторного топлива для различных видов транспорта и др.

Заглубленные изотермические хранилища

Широкое использование СПГ, как универсального энергоносителя, требует решения ряда специфических задач, наиболее важной из которых является разработка эффективных способов хранения сжижения природного газа, позволяющих создать инфраструктуру производства и применения СПГ с учетом особенностей России.

Необходимо отметить, что создание стационарных хранилищ СПГ является новой отраслью в российской промышленности и строительстве. До настоящего времени в России имеется только незначительный опыт хранения СПГ в специальных наземных резервуарах с экранно-вакуумной тепловой изоляцией, выполненных на основе



Рис. 3. Горизонтальное (а) и вертикальное (б) криогенные хранилища СПГ на основе экранно-вакуумной тепловой изоляции, выпускаемые отечественными предприятиями

транспортных криогенных емкостей (рис. 3). Однако проведенные авторами патентные исследования изобретательской деятельности более 90 ведущих зарубежных компаний с 1970 по 2011 гг. в данной области техники показали, что применение экранно-вакуумной теплоизоляции для стационарных хранилищ СПГ технологически и экономически не целесообразно [5].

При проведении патентных исследований выявлено, что из 620 заявок на изобретения по теме стационарные хранилища СПГ экранно-вакуумная теплоизоляция применялась лишь в 19 заявках. Это составляет только 3 % от общего количества поданных заявок на предполагаемые изобретения за более чем 40 лет изобретательской деятельности во всем мире по данной теме.

В связи с этим можно смело утверждать, что мировой опыт проектирования и создания стационарных хранилищ СПГ показывает неэффективность применения экранно-вакуумной теплоизоляции при строительстве хранилищ СПГ. Поэтому существующий в России опыт традиционной криогенной науки (производство и хранение жидкого азота, кислорода и водорода) не может обеспечить создание современных и дешевых отечественных стационарных хранилищ СПГ.

Много вопросов вызывает также и наземное расположение резервуаров для хранения СПГ. В наземных резервуарах большая концентрация СПГ, являющегося веществом с повышенной пожаровзрывоопасностью, на относительно небольших площадях хранилищ обуславливает серьезную проблему обеспечения пожарной безопасности такого рода объектов. Все это создает значительные сложности при обеспечении пожарной безопасности наземных хранилищ СПГ при аварийных разливах (разгерметизация) и размещении их вблизи населенных пунктов и объектов другого функционального назначения.

Так, еще в 1988 г. были введены в действие ведомственные нормы технологического проектирования установок по производству и хранению сжиженного природного газа, изотермических хранилищ и газозаправочных станций (ВНТП 51-1–88). Согласно данным нормам при строительстве изотермических хранилищ с общим объемом хранения СПГ до 6 тыс. м³ могут быть использованы только заглубленные резервуары. А при объеме хранения СПГ менее 1 тыс. м³ использование заглубленных резервуаров позволяет сократить расстояния от комплексов СПГ до других промышленных объектов, жилых и общественных зданий в 1,5-2 раза, что имеет существенное значение при создании инфраструктуры хранения СПГ в городах и населенных пунктах Российской Федерации.

Немаловажным аспектом, обосновывающим перспективность создания заглубленных хранилищ СПГ, является

экономическая компонента. Так, исследования скандинавских ученых доказали, что заглубленные хранилища углеводородов объемом свыше 40 тыс. м³ являются экономически более выгодными и безопасными по сравнению с наземными. Техничко-экономические расчеты показывают, что при сооружении заглубленных хранилищ по сравнению с наземными расход листовой стали сокращается до 20-25 кг на 1 т хранимого продукта, стоимость строительства снижается в 1,5-3,5 раза, эксплуатационные расходы – в 2-5 раз.

В связи с этим строительство заглубленных изотермических хранилищ ввиду более высоких характеристик экономичности, пожаро- и взрывобезопасности является наиболее перспективным направлением создания современных хранилищ СПГ, особенно для хранения небольших объемов в целях перевода систем автономной энергетики и транспорта на сжиженный природный газ как альтернативное топливо. В этих случаях предъявляются более жесткие требования к противопожарному нормированию при размещении хранилищ по отношению к населенным пунктам и промышленным объектам. Заглубленные хранилища СПГ исключают



Рис. 4. Монтаж заглубленных резервуаров СПГ

крупномасштабный разлив продукта и поэтому с точки зрения безопасности являются оптимальными.

Кроме этого, заглубленные хранилища позволяют в оптимальных условиях сохранить большие объемы СПГ, не расходуя дополнительно полезную площадь на размещение резервуаров. Конструкция таких резервуара с люком в верхней части позволяет обеспечить простой и удобный доступ к хранилищу сжиженного природного газа и практически исключает возможность серьезного повреждения хранилища и разлива продукта при всех, предусмотренных технологией, режимах эксплуатации. Большинство развитых стран мира идет по пути создания подземных хранилищ СПГ. Монтаж заглубленных горизонтальных резервуаров СПГ при строительстве современной заправок станции сжиженного природного газа для автомобильного транспорта в одном из штатов США представлен на рис. 4.

Методика расчета сметной стоимости строительства заглубленных хранилищ СПГ

Поскольку заглубленные хранилища СПГ являются сложными и уникальными инженерно-строительными конструкциями, а опыта строительства данных хранилищ СПГ в России нет, возникает необходимость разработки методики для расчета сметной стоимости строительства заглубленных хранилищ СПГ.

В существующей практике под сметной стоимостью строительства понимаются денежные средства на создание строительной продукции, сумма которых определяется на основе проектных материалов. Расчеты стоимости строительства выполняются путем составления специальных документов – смет. Базовой основой расчета сметной стоимости является Система ценообразования и сметного нормирования в строительстве. Расчеты выполняются по установленным типовым формам сметной документации, которые называются сметными расчетами (при определении стоимости продукции на предпроектной стадии) и сметами (при использовании рабочей документации или рабочих чертежей).

Все затраты, связанные с созданием строительной продукции и предусматриваемые в сметах/сметных расчетах, группируются в соответствии с технологическим составом капитальных вложений.

В общем случае сметная стоимость любого предприятия или объекта может быть представлена как сумма стоимости строительного-монтажных работ $C_{см}$, оборудования, инструмента, мебели и инвентаря $C_{обор}$, прочих работ и затрат $C_{пр}$:

$$C_{общ} = C_{стр} + C_{мон} + C_{обор} + C_{пр}.$$

Распределение сметной стоимости строительства по группам с указанием их удельного веса в общей стоимости образует структуру сметной стоимости строительства. Последняя соответствует технологической структуре капитальных вложений.

Сметная стоимость строительного-монтажных работ $C_{см}$ по своему экономическому содержанию делится на прямые затраты ПЗ, накладные расходы НР и сметную прибыль (плановые накопления) СП:

$$C_{см} = ПЗ + НР + СП.$$

Прямые затраты непосредственно связаны с выполнением строительных и монтажных работ, физический объем которых определяется по проекту, а затраты – по сметным нормам и ценам. Они изменяются прямо пропорционально объему работ.

В состав сметных прямых затрат входят:

- стоимость материалов, полуфабрикатов, деталей и конструкций (далее именуется «материалы»), используемых для строительства объектов, $C_{мат}$;
- расходы на оплату труда рабочих, занятых в строительных и монтажных работах, $C_{рот}$;
- стоимость эксплуатации строительных машин и механизмов (далее именуется «строительные машины»), участвующих в производстве строительных и монтажных работ, $C_{эмм}$.

Таким образом,

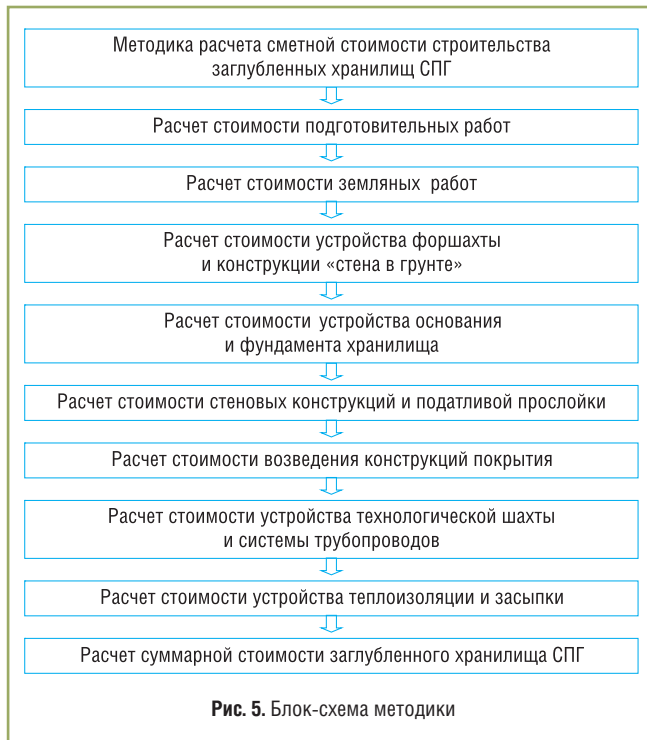
$$ПЗ = C_{мат} + C_{рот} + C_{эмм}.$$

Накладные (косвенные) расходы, в отличие от прямых затрат, связаны с обеспечением общих условий производства строительных и монтажных работ, а также деятельности подрядных организаций. Они учитывают расходы на обслуживание работников строительства, организацию работ на строительных площадках, административно-хозяйственные и прочие накладные расходы.

Прочие накладные расходы учитывают износ по материальным активам, платежи по обязательному страхованию имущества строительной организации и отдельных категорий работников, по кредитам банков в пределах норм, установленных законодательством, расходы на рекламу. Среднеотраслевые укрупненные нормы накладных расходов (в % от фонда оплаты труда рабочих) рекомендованы в Методических указаниях по определению величины накладных расходов в строительстве (МДС 81-33.2004).

На базе вышеуказанных методологических основ формирования сметной стоимости строительства авторами разработана методика расчета сметной стоимости строительства подземных хранилищ СПГ (рис. 5).

На основе предложенной методики была рассчитана сметная стоимость строительства подземных хранилищ вместимостью от 1,2 до 48 тыс. м³, расположенных на глубинах от 3 до 15 м от уровня земли.



Применение разработанной авторами методики для расчета сметной стоимости строительства заглубленных хранилищ СПГ позволило получить ряд новых результатов, обладающих мировой новизной. Так, на основе расчета сметной стоимости более 30 заглубленных хранилищ СПГ авторами определено примерное соотношение стоимостей основных видов работ и строительного-монтажных работ. Основные соотношения представлены ниже.

Стоимость подготовительных работ

$$C_{\text{пр}} = (0,015 \dots 0,02) C_{\text{смп}}$$

где $C_{\text{смп}}$ – стоимость строительного-монтажных работ.

Стоимость земляных работ

$$C_{\text{зр}} = (0,045 \dots 0,05) C_{\text{смп}}$$

Стоимость устройства форшахты и конструкции «стена в грунте»

$$C_{\text{фш+ст}} = (0,185 \dots 0,19) C_{\text{смп}}$$

Стоимость устройства основания и фундамента хранилища

$$C_{\text{осн+ф}} = (0,06 \dots 0,065) C_{\text{смп}}$$

Стоимость стеновых конструкций и податливой прослойки

$$C_{\text{ст+под.пр}} = (0,256 \dots 0,16) C_{\text{смп}}$$

Стоимость возведения конструкций покрытия

$$C_{\text{пок}} = (0,045 \dots 0,05) C_{\text{смп}}$$

Стоимость устройства технологической шахты и системы трубопроводов

$$C_{\text{тш+тр}} = (0,076 \dots 0,08) C_{\text{смп}}$$

Стоимость устройства теплоизоляции и засыпки

$$C_{\text{т+зас}} = (0,22 \dots 0,225) C_{\text{смп}}$$

В 70-80-х гг. прошлого века в СССР были проведены достаточно серьезные научно-исследовательские работы по определению перспективности использования СПГ в различных областях народного хозяйства. Однако из-за социально-экономического кризиса в России конца прошлого века исследования по развитию технологий получения и хранения СПГ были практически полностью свернуты, а многие научно-исследовательские и проектно-конструкторские организации, работавшие в данной области, прекратили свое существование. Ввиду этого в настоящее время наметилась явная тенденция отставания отечественной науки и промышленности от развитых стран мира в вопросах создания развитой инфраструктуры СПГ. Особенно ярко это проявилось в вопросах создания стационарных систем хранения сжиженного природного газа различного функционального назначения.

Строительство хранилищ СПГ при реализации проекта по строительству завода СПГ на о. Сахалин показало, что в настоящее время российская промышленность не обладает научно-техническим потенциалом для создания стационарных хранилищ СПГ и вынуждена прибегать к услугам зарубежных компаний для решения этих вопросов. В связи с этим научно-исследовательская деятельность специалистов института по разработке технологий и методологических основ расчета строительства заглубленных хранилищ СПГ является актуальной и имеет большое значение для развития отечественной криогенной науки в области СПГ.

Литература

1. Кириллов Н.Г., Лазарев А.Н. Сжиженный природный газ: анализ мирового рынка и перспективы отечественного производства // Газохимия. – 2011. – № 6. – С. 23-29.
2. Кириллов Н.Г., Лазарев А.Н. Мировой опыт производства и использования сжиженного природного газа как универсального энергоносителя и моторного топлива // Охрана окружающей среды. Атмосфера. – 2011. – № 1. – С. 26-30.
3. Кириллов Н.Г. Рынок сжиженного газа: российские перспективы // Энергетика и промышленность России. – 2009. – № 1. – С. 31.
4. Кириллов Н.Г., Лазарев А.Н. Сжиженный природный газ шельфовых месторождений как альтернатива «северному завозу» традиционных видов топлива // Газовая промышленность. – 2011. – Спецвыпуск (668). – С. 71-76.
5. Кириллов Н.Г., Лазарев А.Н. Анализ мирового уровня в области создания стационарных хранилищ СПГ на основе результатов патентных исследований // Газовая промышленность. – 2011. – Спецвыпуск (668). – С. 55-59.

США: развитие рынка автOMETANA

Е.Н. Пронин,
исполнительный директор НГА

Development of the US NGV Market

E.N. Pronin

Изменение ситуации на газовом рынке США, связанное со сланцевым газом, повлекло за собой модернизацию топливной политики на транспорте в направлении расширения использования метана в качестве моторного топлива. Доля сланцевого газа в общем национальном балансе газа достигла 30 %, а к 2020 г. она составит все 40 %. По оценке специалистов, ресурсов этого энергоносителя может хватить лет на 100. Как бы там ни было, на АГНКС в США текущий ценовой вектор на топливо плавно снижается. Сколько долго сохранится эта тенденция, будет зависеть от того, когда сланцевый ажиотаж сменится реальной технико-экономической оценкой перспектив.



Школьный автобус заводского производства на КПП

В течение достаточно продолжительного времени американский рынок природного газа, используемого в качестве моторного топлива, практически не развивался. В США насчитывалось около 100 тыс. газовых автомобилей. Появление сланцевого газа вывело газомоторный рынок США из застоя: парк метановых автомобилей увеличился примерно до 120...140 тыс. Цены (долл. США) на моторное

топливо в стране в июле 2012 г. с учетом конкретного штата и компании-продавца сложились примерно так:

1 л бензина	
или дизельного топлива	1
1 кг СУГ (пропан)	0,80-1,65
1 кг водорода	14
1 м ³ природного газа	
на АГНКС	0,30-0,80
на домашней АГНКУ	0,15

Одной из целей современной топливной стратегии США является сокращение зависимости от импортной нефти. Стремление добиться энергетической самодостаточности за счет национальных ресурсов, а также очевидные экологические и экономические преимущества метана заставляют американскую государственную машину снова вернуться лицом к газификации транспорта. На сей раз в поле зрения попал сегмент легкового транспорта.

В рамках государственной программы реализации потенциала природного газа для транспорта (Methane Opportunities for Vehicular Energy – MOVE) Министерство энергетики США выделило 30 млн долл. на проведение НИОКР по созданию облегченных баллонов и компрессорных установок индивидуального пользования (домашние АГНКУ). В перечень НИОКР включены 13 перспективных технологий, которые должны обеспечить достижение главной цели – снижение стоимости этой продукции, ориентированной прежде всего на сегмент легкового газового транспорта.



Муниципальные мусоровозы на КПП

Среди многих разработок, отобранных для финансирования, называют следующие:

- создание технологий производства газовых баллонов с пенополиуретановым внутренним корпусом любой конфигурации, которые позволят увеличить вместимость и сократить цену сосудов примерно на треть по сравнению с традиционными технологиями на основе углепластикового волокна (компания REL, Inc. из Мичигана получит 3 млн долл.);
- разработка конструкции баллона с применением пористых материалов, что должно обеспечить снижение рабочего давления и стоимости баллонов (компания Ford Motor получит 5,5 млн долл.);
- создание материала с высокими абсорбционными свойствами, позволяющего перейти к работе на низких давлениях (Техасский университет A&M в Колледж Стейшн получит 3 млн долл.);
- создание АГНКУ с одноцилиндровым компрессором с малым давлением всасывания (Техасский университет в Остине получит 4 млн долл.).



Газовый автобус на КПП в Лос-Анджелесе

Все больше и больше муниципальных и коммерческих транспортных предприятий США переходят на использование природного газа. Наиболее динамично развивается сегмент междугородных грузовых перевозок с использованием магистральных тягачей, работающих на СПГ. Активизируются работы по внедрению СПГ на железнодорожном и водном транспорте.

Американские законодатели разрабатывают меры стимулирования по следующим стратегическим направлениям:

- приобретение и использование автомобилей, работающих на природном газе, особенно большого класса для автотранспортных компаний;
- заводское производство автомобилей, работающих на природном газе;



Магистральный тягач на СПГ компании UPS

- строительство заправок автомобилей природным газом;
- проведение НИОКР по созданию новых моделей автомобилей, работающих на природном газе.

Реагирует на новые реалии не только бизнес, но и власть. Губернаторы 13 штатов, в которых расположены основные запасы американского природного газа, пообещали руководителям компаний Джeneral

Моторз, Форд и Крайслер закупать тысячи газовых автомобилей. Руководители штатов даже договорились о подготовке консолидированного заказа. Точных цифр никто пока не назвал, но в ноябре 2011 г., когда родилась эта идея, речь шла о ежегодном заказе 5 тыс. метановых машин для каждого штата. Итого – 65 тыс. автомобилей в год для бюджетной сферы. За такой заказ автомобильные заводы будут отчаянно сражаться. А это открывает дополнительные возможности для снижения цен.

Применение аналогичного механизма в России было бы не менее полезно как для субъектов Федерации, так и для автопроизводителей. Кроме того, наличие фиксированного заказа от регионов позволило бы синхронизировать процессы газификации подвижного состава и строительства новых газозаправочных мощностей.

Германия: Водород для автомобилей

С.А. Порожняков, ООО «Газпром ВНИИГАЗ»

Германское отделение компании Air Liquide заявило о намерениях принять участие в строительстве на территории ФРГ водородных автомобильных заправок станций (ВАЗС). В июне 2012 г. Федеральное министерство транспорта, строительства и городского развития Германии подписало соответствующие протоколы о намерениях с рядом компаний, включая компанию Air Liquide. В рамках программы «Немецкая водородная автострада» (German Hydrogen Highway) к 2015 г. в Германии должны быть построены не менее 50 ВАЗС, из них 10 станций будет строить компания Air Liquide, которая уже возвела в разных странах мира 59 таких объектов, в том числе четыре в Германии.

Германия уже имеет определенный опыт применения компримированного и сжиженного водорода на



Серийный автобус на компримированном водороде

легковых автомобилях и автобусах. Одно время в аэропорту Мюнхена работала экспериментальная водородная автозаправка. Компримированным водородом заправляли рейсовые автобусы, а сжиженным – легковые машины.

Водород получали тут же методом электролиза воды. В эксперименте участвовали два десятка инженеринговых, транспортных и финансовых компаний. Стоимость водорода в этот период составляла 0,33 евро/м³ для компримированного и 0,55 евро/л



Экспериментальный автобус на сжиженном водороде

– для сжиженного. Понятно, что это была не коммерческая, а «исследовательская» цена.

Аналогичный комплекс был создан в Берлине для заправки муниципальных автобусов компримированным (до рабочих давлений 35 или 70 МПа) и сжиженным водородом. Комплекс расположен на территории городского автобусного парка в непосредственной близости от обычной многотопливной АЗС сети Total. Заправочные колонки расположены вне периметра автопарка, чтобы обеспечить свободный доступ всем желающим. Колонки стоят в 5 м от заправочного поста СУГ и в 10 м от колонок КППГ, бензина и дизельного топлива.

Анализ систем автоматизации нефтегазового комплекса, применимых для автомобильных газонаполнительных станций

С.В. Люгай,

директор центра ООО «Газпром ВНИИГАЗ»,

А.А. Евстифеев,

начальник лаборатории ООО «Газпром ВНИИГАЗ»

Проведен анализ существующих решений по автоматизации нефтегазового комплекса, применимых на автомобильных газонаполнительных станциях, проанализированы ключевые отличия логистики поставки газового топлива, сформулированы требования к контрольно-измерительным приборам и автоматике (КИПиА), применяемым на объектах. Предложено направление развития технических решений для обеспечения непрерывности заправки автомобильного транспорта.

Ключевые слова: автоматизированные системы управления сетями автомобильных газонаполнительных станций, компримированный природный газ, сжиженный природный газ, логистика поставок газового топлива.

The Analysis of Systems of Automation of an Oil and Gas Complex, Applicable for Automobile Gas-Filled Stations

S.V. Lugaev, A.A. Evstifeev

Maintenance of a continuity of process of refuelling of motor transport is one of the primary goals of a network automobile gas-filled stations, but for its maintenance it is necessary at modern level to provide and provide delivery of filled fuel and to provide possibility of use of deserted technologies for informing of divisions of parent organization.

In work the analysis of existing decisions on automation of an oil and gas complex, applicable for automobile gas-filled stations is carried out, the analysis of key differences of logistics of delivery of gas fuel is carried out, requirements to instrumentations and the means of automatics applied on objects and are formulated the direction of development of existing decisions for maintenance of a continuity of functioning of process of refuelling of motor transport is offered

Keywords: the automated control systems of networks automobile gas-filled stations, logistics of deliveries of gas fuel, per diem costs for fuel, liquefied natural gas, compressed natural gas, diesel.

Непрерывность заправки автомобильного транспорта – одна из основных задач сети автомобильных газонаполнительных станций. Для ее обеспечения необходимо предусмотреть поставку заправляемого топлива и использование безлюдных технологий для информирования подразделений головной организации.

Для повышения уровня автоматизации производственных процессов ОАО «Газпром» с 2008 г. проводит реализацию собственной стратегии информатизации. Среди видов бизнеса, охваченных стратегией информатизации, оказались добыча, транспортировка и реализация природного газа и газового конденсата. В целом в раздел распределения и газоснабжения попадает и снабжение потребителей горючими газами, используемыми в качестве моторного топлива. К ним относятся сжиженный углеводородный газ (СУГ), компримированный природный газ (КПГ), сжиженный природный газ (СПГ) и в будущем – водород.

Представленные на российском рынке фирмы, в сферу деятельности которых входит автоматизация производственных процессов, зачастую являются посредниками по продаже готовых решений импортных компаний – таких как General Electric, Siemens, OsiSoft, Aspen Tech, Yokogawa и др. Многие из этих фирм не обеспечивают простейшей локализации предлагаемых программных продуктов и систем. Это приводит к неправильному пониманию сообщений системы и ошибкам управления как оператором, так персоналом на объекте.

Все доступные и предлагаемые в настоящее время на российском рынке системы автоматизации

спроектированы и реализованы с использованием импортных комплектующих. Все системы проектирования, операционные системы реального времени, контроллеры и процессорные блоки, интерфейсы сопряжения и индицирующее оборудование изготовлены или за границей, или из импортных микроэлектронных компонентов.

К сожалению, достижения отечественных фирм, связанные с производством контроллеров и систем автоматики, полностью зависят от поставок комплектующих из-за границы. Существующая и производимая в России элементная база глубоко устарела и в настоящее время отстает от зарубежных аналогов.

Одним из лидеров по производству средств автоматизации и телемеханики для промышленных объектов является компания Fastwel, которая выпускает широкую номенклатуру изделий в популярном формате MicroPC, одноплатные компьютеры, выносные модули УСО, а также необходимые аксессуары и вспомогательные изделия. Для современных приложений, требующих высокой производительности и широкого набора интерфейсов, предназначены процессорные платы на базе процессора Intel Pentium M в форматах CompactPCI, VME и EPIC. Все оборудование работает в промышленном диапазоне температур $-40 \dots 85 \text{ }^\circ\text{C}$.

К основным процессам, автоматизируемым поставщиками оборудования для автомобильных газонаполнительных компрессорных станций (АГНКС), относятся отпуск топлив, расчеты за отпущенное топливо, а также управление технологическим оборудованием. При этом первая автоматизированная система является замкнутой платежной

системой с выделенными модемными линиями связи с банком. Вторая система также замкнутая, поскольку потребности в обобщении информации о режимах и оптимизации расходования электроэнергии и газа, потребляемых автомобильными заправками, на уровне управляющей организации в настоящее время нет.

Логистика поставок газового топлива

Логистика поставок газового моторного топлива и контроль уровня топлива в емкостях для хранения важны только для станций, не имеющих подключения к магистральному газопроводу. При использовании сжиженных газов (СУГ и СПГ) можно уверенно говорить о применимости к ним автоматизированных систем поставки жидких моторных топлив для автомобильных заправочных станций. Конечно, существуют более жесткие ограничения, связанные в первую очередь с испарением и фактическим сроком хранения газового моторного топлива, однако это можно учесть как дополнительный параметр при организации цепочек поставок топлива и его распространения по точкам реализации.

Схемы логистики для КПП будут иметь значительные отличия. В первую очередь, это связано с ограниченными объемами газа, подлежащими транспортировке, – от 2 до 5 тыс. м³. При этом объем средней заправки одного автобуса составляет примерно 190 м³ при давлении 20 МПа. Таким образом, газом из одного комплекта баллонов, подключенных к компрессорному блоку, при коэффициенте опорожнения 0,94 можно заправить от 10 до 25 автобусов или грузовых автомобилей. Такой пропускной способности может быть

достаточно только для выделенной станции дозаправки автобусов, расположенной по пути следования. На станции, предназначенные для заправки проезжающего транспорта при потоке более 2 автомобилей в час, придется завозить ГМТ, как минимум, два раза в сутки и содержать парк пустых емкостей, находящихся в обороте. Только 45 % их числа будут одновременно использоваться для заправки транспорта, остальные будут находиться под заправкой, в пути следования к месту использования, на ремонте, обследовании или диагностике.

Возможны варианты установки емкостей на заправках и закачка газа в них. Однако возникают проблемы с их наполнением, изготовлением, доставкой и освидетельствованием. Длительные периоды загрузки и разгрузки емкостей, потребность в избыточном парке автомобильных тягачей и целый ряд сложностей, связанных с использованием КПП, требуют пересмотра алгоритмов доставки и методов снабжения автомобильных заправочных станций данным видом топлива.

Требования к КИПиА, применяемым на опасных производственных объектах

Основным требованием, предъявляемым в настоящее время к компонентам, используемым в составе автоматизированных систем управления технологическими процессами, является унификация методов доступа к показаниям прибора и опроса его состояния. В подавляющем большинстве случаев это достигается применением стандартных коммутационных интерфейсов (RS 232, RS 485), наличием OPC-сервера, а также поддержкой одного из протоколов Modbus или DCon.

Большинство зарубежных поставщиков контрольно-измерительной аппаратуры обеспечивают проектируемые ими приборы необходимым набором коммуникационных интерфейсов. Современные отечественные разработки также комплектуются разъемами и протоколами обмена информацией с оборудованием. Вместе с этим существующие системы автоматизации, установленные на действующих объектах, построенных до 2000 г., разъемами и модулями коммуникации не оборудованы. В результате модернизация автоматизации управления на действующих станциях сводится к полной замене действующей системы на новую с установкой приборов, датчиков и шкафов управления. Стоимость таких работ в некоторых случаях достигает 50 % и более остаточной стоимости станции. Решение о замене автоматизации или полностью оборудования

станции на современное принимается для каждого объекта отдельно.

Ситуация с частными газовыми заправочными станциями в ближайшее время, вероятно, будет меняться в сторону объединения станций с образованием более крупных компаний, установкой полностью автоматических заправочных пунктов и появлением региональных операторов, имеющих собственную сеть станций. В свою очередь, это потребует построения распределенных информационно-управляющих систем оперативного управления заправочным комплексом компании. Основным источником информации для данной системы станут отчеты АСУ ТП, установленные на станциях, банковские выписки и показания входных расходомеров. Весь этот объем информации потребует хранить, обрабатывать, представлять, анализировать,

интерпретировать, секционировать по функциональным задачам подразделений и на ее основе формировать корпоративную отчетность и обеспечивать выполнение подразделением производственных задач и функций. В результате, будут внедряться вертикально интегрированные системные решения, такие как SAP ERP, основными функциональными задачами которых будут: своевременное информирование руководства, сотрудников структурных подразделений административно-управленческого и эксплуатационного персонала компании об объемах и эффективности производственной деятельности; анализ и оценка качества исполнения персоналом должностных обязанностей и производственной дисциплины; прогноз и формирование трендов по ключевым показателям производственной деятельности компании.



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 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).**

Материалы статей должны быть представлены по электронной почте в программе WinWord. Объем статьи – не более 14 400 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, таблицы и графические рисунки должны быть выполнены в программе Word в формате doc, rtf. Фотографии (не менее 300 dpi, CMYK) – в формате jpg, jpeg, tiff, pdf. Отдельно необходимо представить список подписанных подписей. Не следует форматировать текст самостоятельно.

При пересылке материалов по e-mail следует сопровождать 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).



CREON

18 декабря 2012

Зал «Ярославль»

Отель «Балчуг Кеминский Москва»

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ СПГ и КПГ 2012

На конференции будут рассмотрены следующие основные темы:

- Насколько эффективна государственная программа по стимулированию использования газомоторного топлива в РФ?
- Конкуренция на внутреннем рынке ГМТ: СПГ, КПГ или СУГ?
- Ценообразование на СПГ/КПГ в РФ: госрегулирование или свободный рынок?
- Новые перспективные направления использования СПГ в РФ: в качестве топлива для железнодорожного и авиационного транспорта, для газификации отдаленных и труднодоступных районов;
- Перспективы развития строительства мини-установок СПГ в РФ;
- Современные технологии сжижения и компримирования природного газа;
- Создание плавающих платформ для получения СПГ из газа, добываемого на морском шельфе России;
- Создание установок пик - шевинга для накопления СПГ и последующего использования в период пиковых нагрузок по газу;
- Переработка шахтного газа и биогаза с получением СПГ для газификации прилегающих регионов;
- Развитие технологий хранения и транспортировки СПГ и КПГ в РФ.

Дополнительную информацию о предстоящем мероприятии Вы можете получить в Оргкомитете конференции. Для регистрации необходимо заполнить заявку на участие и прислать по факсу: + 7 (495) 797-49-07 или на e-mail: org@creonenergy.ru

Влияние температуры баллонов на расход КПГ по остаточному давлению

М.И. Почукаев,

аспирант МАДИ,

В.И. Молчанинов,

начальник технического отдела 11-го автобусного парка ГУП «Мосгортранс»,

Ю.В. Панов,

профессор МАДИ, к.т.н.,

А.А. Назаров,

директор 2-го автобусного парка ГУП «Мосгортранс»

В статье приведены результаты сравнения оценок расхода компримированного природного газа по остаточному давлению, рассчитанных по значению температуры окружающей среды и показаниям температурных датчиков, установленных на баллонах автобусов. Показана важность приборного измерения температуры КПГ для точной оценки расхода.

Ключевые слова: расход газа, природный газ, автобусы, остаточное давление, сравнительные испытания, КПГ, температура газа.

Research of Influence Cylinders Temperature on CNG Consumption on Residual Pressure

M.I. Pochukaev, V.I. Molchaninov,

Yu.V. Panov, A.A. Nazarov

The article describes the results of comparative test of estimates of compressed natural gas consumption on the residual pressure, calculated on the ambient air temperature and according to indications of the temperature sensors established on cylinders of buses. The article describes the importance of instrument measurement of CNG temperature for an exact estimate of CNG consumption.

Keywords: natural gas consumption, natural gas, buses, residual pressure, comparative tests, CNG, gas temperature.

11-м автобусным парком ГУП «Мосгортранс» вот уже несколько лет успешно эксплуатируются выпускаемые серийно автобусы большой и особо большой вместимости, работающие на компримированном природном газе (КПГ). Однако инструментальный замер расхода топлива по-прежнему связан с рядом проблем [1-5]. В парке расход КПГ оценивается по остаточному давлению в баллонах [1, 3], которое фиксируется по штатному манометру автобуса. Температура газа принимается равной температуре окружающего воздуха, а его объем в баллонах – табличному значению. В основе табличных значений объема КПГ, определенного при нормальных условиях, лежат значения объема КПГ для одного 50-литрового баллона с учетом коэффициента сжимаемости газа.

Такая оценка расхода КПГ недостаточно точна. И в первую очередь это связано с различием температур газа в баллонах автобуса и воздуха окружающей среды. Для исследования влияния температуры КПГ в баллонах автобуса на оценку расхода топлива проведены испытания, в организации которых оказало помощь ЗАО «Элтон» (г. Троицк Московской обл.), предоставившее датчики регистрации температуры Thermochron I-Button.

Испытания проводились на достаточно коротком (4,4 км) городском маршруте высокой сложности с 12 остановками, среднее расстояние между которыми составляло менее 340 м, с большим числом регулируемых перекрестков и пешеходных переходов. Эти факторы обусловили низкую среднюю скорость на маршруте. В автобусах, курсирующих по этому маршруту, было зарегистрировано большое число значений остаточного давления газа в баллонах в течение короткого промежутка времени. Замеры проводились при разных погодных условиях в различное время суток. Таким образом, были получены значения остаточного давления при температуре газа в баллонах, близкой к температуре окружающей среды, и при большой разнице температур.

В испытаниях участвовали четыре газовых автобуса модели ЛиАЗ 5293.7 [6] под номерами 1, 2, 3, 4, которые были оснащены девятью автомобильными газовыми баллонами типа 2 по ГОСТ Р 51753–2001 производства Орского машиностроительного завода. Из них восемь баллонов объемом 97 л каждый смонтированы в двух кассетах на крыше автобуса и закрыты сверху пластиковым кожухом, а один маневровый баллон объемом 82 л расположен под полом салона автобуса и защищен снизу металлическим кожухом. Баллоны в зависимости от комплектации автобуса оснащены ручными баллонными вентилями производства фирмы «САГА» (г. Москва) или баллонными вентилями с электромагнитными клапанами импортного производства. Полная вместимость баллонов автобуса ЛиАЗ 5293.7 составляет 858 л, что соответствует 0,858 м³ газа [3, 6].

На одном автобусе установлен двухступенчатый редуктор типа 9031.20.000 фирмы «САГА», поддерживающий давление на впуске газового двигателя независимо от входного в магистрали высокого давления на уровне 370 кПа. На остальных автобусах – газовое оборудование итальянского производства фирмы Emeg с близкими характеристиками.

Заправка автобусов осуществлялась на АГНКС № 8, находящейся в 4 км от 11-го автобусного парка, или на территории самого парка.

Для определения расхода КПГ автобусами использовалась методика оценки расхода газа по остаточному давлению в баллонах, которая успешно применяется в парке при различных испытаниях автотранспортной техники, использующей в качестве моторного топлива природный газ. В течение дня давление газа в баллонах замерялось от двух до семи раз датчиками МИДА ДИ-13П-01-Ех с пределом измерений 0...25 МПа и ценой деления 0,1 МПа с цифровым индикатором МИДА ИЦ-201-Ех. Давление регистрировалось на конечной остановке «Станция Ховрино» при каждом прибытии испытываемого автобуса (рис. 1).

В период времени с 9:42 до 12:02 в связи с нагревом баллонов оно не изменилось несмотря на то, что автобус сделал круг по маршруту. Значительное снижение давления в период с 12:44 до 14:10 связано с тем, что за это время автобус сделал два круга по маршруту.

Объем газа в баллоне V , приведенный к нормальным условиям (101,3 кПа, 273 К), рассчитывался по показаниям манометра с помощью модифицированного уравнения Клапейрона–Менделеева:

$$V = 0,3708 V_6 (T/p) Z, \text{ или } pV = RTZ, \quad (1)$$

где V_6 – объем баллонов автобуса, м³; T – температура газа в баллонах, К; p – замеренное давление в баллонах, МПа; R – универсальная газовая постоянная; Z – коэффициент сжимаемости.

Коэффициент сжимаемости – безразмерная величина, зависящая от фактического давления, которая в интервале 0,1...25 МПа с точностью свыше 99 % рассчитывалась по уравнению модифицированного метода NX-19 (ГОСТ 30319.2–96). Для расчета коэффициента сжимаемости использовалась специальная программа, версия 3.0 (www.proekt-gaz.ru).

Основным недостатком данной методики оценки расхода КПГ является погрешность, связанная с разницей температур окружающего воздуха и газа в баллонах. Для снижения влияния на результат проводились измерения давления не позже, чем через 1 ч после очередной заправки автобуса газом. Температура воздуха определялась по данным сайта www.meteoinfo.ru (рис. 2).

Для регистрации температуры газа в баллонах автобуса использовались портативные температурные датчики, способные в течение нескольких суток записывать



Рис. 1. Измерение давления 4.07.2011 г. в баллонах автобуса ЛиАЗ 5293.7 № 1

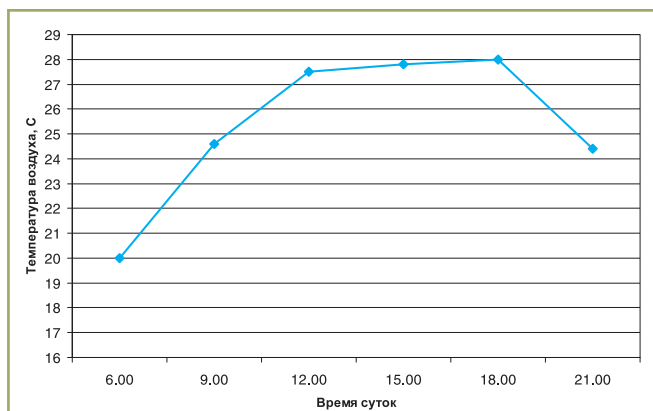


Рис. 2. График изменения температуры воздуха 28.06.2011 г.

данные на блок встроенной памяти, которые затем считывались с помощью компьютера. Пики максимальной температуры на графике (рис. 3) соответствуют процессам заправки автобуса газом.

Затем были проведены расчеты расхода КПГ по температуре атмосферного воздуха (рис. 4) и по показаниям датчиков температуры.

Результаты испытаний показали, что расход КПГ у различных газовых автобусов может существенно отличаться даже в условиях работы на одном и том же маршруте (рис. 5). Средние расходы КПГ у различных автобусов за время испытаний рассчитывались по температуре окружающего воздуха и изменялись от 54,7 до 75,7 м³/100 км. Наименьший расход зафиксирован у автобуса № 2, а наибольший – у автобуса № 4. При этом разница составила более 20 м³/100 км. В двигателях автобусов № 3 и 4 имелись неисправности, проявившиеся в неравномерной работе.

Общая картина не изменилась и при использовании датчиков температуры, установленных на баллонах автобусов, хотя разница в расходах несколько сократилась. Это можно объяснить разными скоростями нагрева и остывания баллонов, так как автобусы

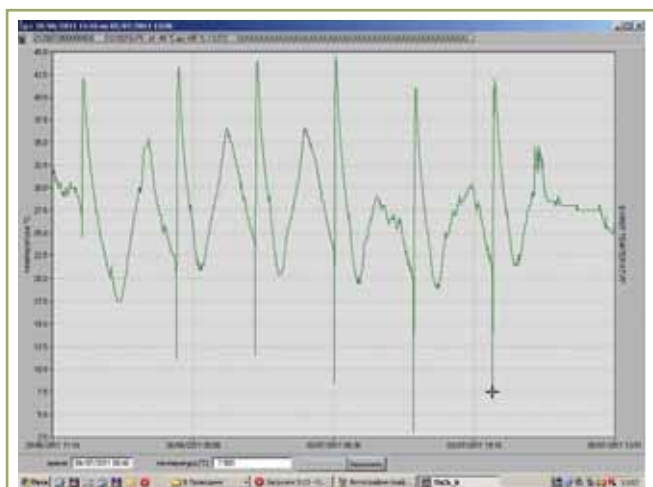


Рис. 3. График температурного режима баллонов автобуса № 3 по показаниям датчика температуры

отправлялись с конечной остановки и прибывали на нее не одновременно. Так, расход автобусов составил 54,1...77,2 м³/100 км (рис. 6). Видно, что расчет по температуре воздуха дает, как правило, заниженные значения. В целом же можно отметить, что для косвенной оценки технического состояния автобуса достаточно измерения расхода по температуре окружающего воздуха. То есть, расход технически исправного автобуса по-прежнему меньше (более чем на 25 %), чем расход автобуса, у которого двигатель работает с перебоями.

Регистраторы температуры позволили минимизировать ошибку, связанную с разницей температур воздуха и газа в баллонах автобуса. По техническим причинам снять показания температуры баллонов для автобуса № 2 не удалось, поэтому для него значение расхода определено только по температуре воздуха. На рис. 6 хорошо видна разница расходов КПГ у разных автобусов.

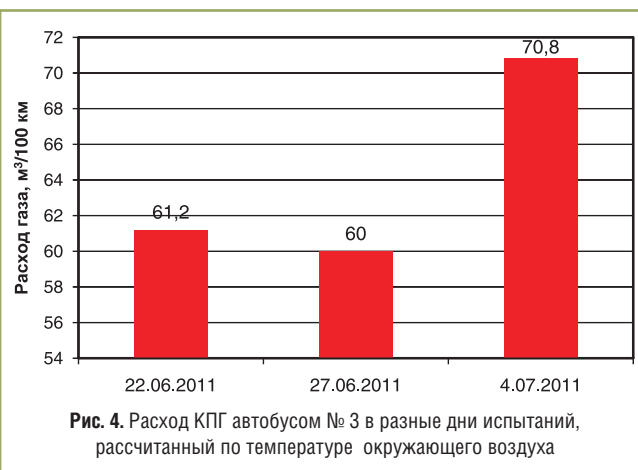


Рис. 4. Расход КПГ автобусом № 3 в разные дни испытаний, рассчитанный по температуре окружающего воздуха

При этом за 100 % принята оценка по показаниям датчиков температуры. Разница в оценках может достигать 20 %. Таким образом, следует сделать вывод, что оценка расхода КПГ по температуре окружающего воздуха крайне неточна.

Совместный анализ графика температурного режима баллонов (см. рис. 3) и графика температуры воздуха (см. рис. 2) позволяет сделать вывод о периодичности изменения разницы температур газа в баллонах и окружающего воздуха. В течение недели снимались показания регистраторов температуры на трех автобусах и фиксировалась температура воздуха каждый час. Были определены две выборки случайных величин – температур газа в баллонах и воздуха. По средним значениям разницы температур для каждого часа наблюдения по данным, полученным от трех датчиков за неделю, был построен график (рис. 7). Таким образом, для более точной оценки расхода КПГ по остаточному давлению целесообразно проводить корректировку температуры газа относительно температуры воздуха с помощью этого графика. По результатам этого анализа был подобран полином шестой степени, который с высокой точностью



Рис. 5. Средние расходы КПГ автобусов за время испытаний, рассчитанные по температуре воздуха



Рис. 7. Зависимость разницы температур воздуха и газа от времени суток

описывает изменение разницы температур в течение суток.

$$\Delta t = 8,54 \cdot 10^{-7} \tau_c^6 - 167,707 \cdot 10^{-6} \tau_c^5 + 846,2083 \cdot 10^{-5} \tau_c^4 - 174,089 \cdot 10^{-3} \tau_c^3 + 1489,275 \cdot 10^{-3} \tau_c^2 - 3672,243 \cdot 10^{-3} \tau_c - 5,066, \quad (2)$$

где τ_c – время суток в десятичной записи, ч.

Коэффициент корреляции значений разницы температур, рассчитанных по полиному (2), и наблюдаемых средних значений составил $r = 0,95$, что говорит о тесной корреляционной связи.

Для более точной оценки расхода КПГ предприятиям, эксплуатирующим газовый подвижной состав, целесообразно использовать датчики температуры КПГ, находящиеся в баллонах с аппаратурой для передачи информации от датчиков на персональный компьютер и программным обеспечением, предназначенным для наглядного отображения информации на мониторе персонального компьютера. В качестве датчиков рекомендуется использовать регистраторы температуры Thermochron I-Button DS1921G-F5, комплекс обслуживания Thermochron Revisor (TCR-G) и программное обеспечение

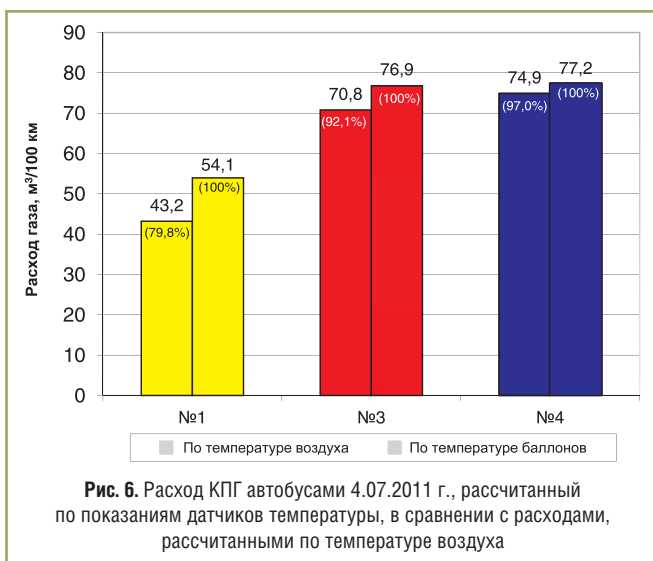


Рис. 6. Расход КПГ автобусами 4.07.2011 г., рассчитанный по показаниям датчиков температуры, в сравнении с расходами, рассчитанными по температуре воздуха

ThCh_R, совместимое с операционными системами Windows XP/Vista/7. Также желательна заводская комплектация автобусов подобными датчиками и выведение информации с них на приборную панель в кабине.

Помимо этого целесообразно приобрести более точное оборудование для измерения давления, так как при большой дискретности измерений велика вероятность ошибки, связанной с низкой точностью определения давления. Эксперимент показал, что давление следует оценивать с точностью до 0,01 МПа.

Литература

- Бушуев П.В., Панов Ю.В., Зенченко В.А., Назаров А.А. Современные методы оценки расхода газового топлива городскими автобусами // Автотранспортное предприятие. – 2007. – № 4. – С. 29-34.
- Панов Ю.В., Чижова Н.Н., Назаров А.А., Бушуев П.В. Оценка расхода КПГ городских автобусов ЛиАЗ на маршрутах различной сложности: сб. тр. «Проблемы технической эксплуатации и автосервиса подвижного состава автомобильного транспорта». – М.: МАДИ (ГТУ), 2009. – С. 79-84.
- Панов Ю.В., Почукаев М.И., Назаров М.А., Молчанинов В.И. Применение бортовой электронной системы управления двигателем для маршрутного нормирования КПГ // Транспорт на альтернативном топливе. – 2010. – № 6. – С. 39-43.
- Семенюга В.В., Люгай С.В., Никаноров Б.И., Панов Ю.В. Эксплуатационные расходы топлива автомобилей пробега // Газовая промышленность. – 2009. – № 11. – С. 10-12.
- Семенюга В.В., Аكوпова Г.С., Капитонов А.Н., Третьяков В.А., Балашов М.Л., Тетеревлев Р.В., Каюкова Н.А. Автопробег «Голубой коридор-2010» // Транспорт на альтернативном топливе. – 2010. – №6. – С. 9-14.
- Хорьков В.И. Газовые автобусы ЛиАЗ. Руководство по эксплуатации. – ЛиАЗ, 2008. – 461 с.
- Шишков В.А. Причины повышенного расхода газового топлива в процессе эксплуатации автомобиля с электронной системой управления двигателем с искровым зажиганием // Транспорт на альтернативном топливе. – 2010. – №2. – С. 14-19.

Передвижной автогазозаправщик ПАГЗ 4300-24,5

С.П. Семенищев,

генеральный директор ООО «НПП «Высокие технологии для Газпрома»
(ООО «НПП «ВТГ»), к.т.н.

П.Г. Килин,

ведущий конструктор ООО «НПП «ВТГ»

Приведены технические характеристики и особенности передвижного автомобильного газозаправщика, разработанного и изготовленного предприятием ООО «НПП «Высокие технологии для Газпрома» в третьем квартале 2012 г.

Ключевые слова: газобаллонная установка, передвижной автомобильный газозаправщик, автомобильная газонаполнительная компрессорная станция (АГНКС), транспортные средства.

Mobile Money Supply Compressed Natural Gas Users

S.P. Semenishchev, P.G. Kilin

The technical specifications and features of a portable gas vehicle refueling and manufactured by LLC «NPP» High Technology for Gazprom».

Keywords: plant gas-cylinders, portable gas vehicle refueling, automobile gas-filling compressor stations, vehicles.



ПАГЗ 4300-24,5

Передвижной автомобильный газозаправщик (ПАГЗ), оснащенный баллонами, периодически заправляемыми от АГНКС природным газом, сжатым до давления 24,5 МПа, предназначен для транспортировки газа и заправки им транспортных средств (ТС), использующих природный газ в качестве моторного топлива. ТС заправляется до давления 19,6 МПа.

ПАГЗ (рисунок) представляет собой трехсекционную газобаллонную установку с металлокомпозитными баллонами типа 3 (ГОСТ 51753–2001), размещенную на платформе полуприцепа НЕФАЗ-9334-0000020-03, переоборудованного для перевозки опасных грузов. Число баллонов в секциях: I – 40, II – 30, III – 10.

Газобаллонная установка УГБ-03-14800-24,5-3-СН₄ по ТУ 4859-001-9005671–2011 разработана, изготовлена и поставлена заказчику в г. Ставрополь.

В условном шифре установки приняты следующие обозначения:

- УГБ – установка газобаллонная;
- 03 – исполнение газобаллонной установки (передвижной автомобильный газозаправщик);
- 14800 – суммарная вместимость баллонов, л;
- 24,5 – рабочее давление в баллонах, МПа;
- 3 – число функциональных секций;
- СН₄ – название рабочей среды (природный газ метан по ГОСТ 27577–2000).

Для буксировки ПАГЗ может быть использован тягач, конструкция которого допускает перемещение заправщика соответствующей массы и габаритов,

Технические характеристики ПАГЗ

Объем перевозимого сжатого газа при нормальных условиях, м ³	4300
Габаритные размеры, м	
длина	10550
ширина	2550
высота	4000
Масса газобаллонного оборудования, кг	
без газа	12320
с газом	15200
Полная масса ПАГЗ, заправленного газом, кг	22400
Нагрузка от полной массы ПАГЗ, заправленного газом, кН	
на седельное устройство тягача	109
на дорогу от тележки полуприцепа	115
Максимальное число заправляемых газом ТС с баллонами вместимостью 60 м ³ , шт.	46
Максимальное время заправки одного ТС с баллонами вместимостью 60 м ³ , мин	10

специально оборудованного для перевозки опасных грузов.

ПАГЗ (таблица) предназначен для эксплуатации в климатических условиях (исполнение У, категория размещения 2), нормируемых ГОСТ 15150–69. Заправкой и отпуском газа управляет оператор с пульта управления блока заправки и раздачи. Газобаллонное оборудование и пульт управления защищены от воздействия солнечного излучения и осадков

тентом из ткани ПВХ, который обеспечивает возможность легкого доступа с двух сторон к газобаллонному оборудованию ПАГЗ для его технического обслуживания при эксплуатации.

Отличительной особенностью конструкции ПАГЗ является то, что каждая секция баллонов может работать автономно, поскольку секции имеют полные, не связанные друг с другом комплекты газовой арматуры,

включая газозаправочные горловины и газораздаточные устройства (заправочные пистолеты). Это обеспечивает возможность одновременной подачи газа сразу в три секции баллонов при наличии нескольких заправочных пистолетов на АГНКС, что сокращает общее время заправки ПАГЗ.

Заправку ТС от ПАГЗ обычно начинают от секции с наибольшим числом баллонов (секция I). По мере снижения давления газа в них ТС дозаправляют до необходимого давления 19,6 МПа вначале от секции II, а затем от секции III. Коэффициент опорожнения баллонов ПАГЗ при таком режиме работы составляет не менее 0,65.

При пиковом потреблении газа возможна одновременная заправка ТС от двух и даже трех секций. Однако при этом снижается коэффициент опорожнения баллонов, и соответственно уменьшается общее число заправляемых ТС.

На газобаллонную установку УГБ-03-14800-24,5-3-СН4 (ПАГЗ 4300-24,5) получен сертификат соответствия № РОСС RU.АИ25.Н00076 от 26.01.2012 г.

ZK6852HG CNG (метан)



- от 3 150 000 руб.
- Евро 4
- ОТТС Госстандарта РФ
- Пассажировместимость 60 (мест для сидения 22+1)



YUTONG

www.yutong.ru

8 800 333 2808 (Звонок по РФ бесплатный)



СТОПК

Официальное представительство Zhengzhou Yutong Bus Co., Ltd в РФ

Влияние низких температур воздуха на энергетические и экологические параметры газобаллонных автомобилей

Е.М. Чикишев,

доцент кафедры Тюменского государственного нефтегазового университета, к.т.н.,

И.А. Анисимов,

доцент кафедры Тюменского государственного нефтегазового университета, к.т.н.

Рассмотрено влияние низких температур окружающего воздуха на расход топлива и выбросы вредных веществ с отработавшими газами газобаллонных автомобилей, работающих на сжатом природном газе и бензине. Получены графические зависимости. Предложены математические модели, описывающие эти зависимости. Сделан вывод о том, какое из рассмотренных топлив менее восприимчиво к изменению температуры воздуха с точки зрения топливной экономичности и экологичности.

Ключевые слова: низкие температуры воздуха, бензин, сжатый природный газ, расход топлива, экологичность.

Influence of Low Air Temperatures on Energy and Environmental Parameters of Bottle-Gas Vehicles

E.M. Chikishev, I.A. Anisimov

Questions of low ambient temperature influence on adaptability coefficient changing of gas-bottle vehicles, operated on compressed natural gas and gasoline by fuel consumption and harmful substances emissions of vehicle exhaust gases Diagrams and mathematical models of characteristics dependences are provided. As a result the main conclusion, which fuel is the most efficient and ecological compatible in consider with temperature change, is given.

Keywords: low temperatures, petrol, compressed natural gas, fuel consumption, ecological compatibility.

В настоящее время стабильно возрастает количество транспортных средств, оснащенных газобаллонным оборудованием и работающих на сжатом природном газе (КПГ), который является наиболее реальным и перспективно развивающимся направлением в области сбережения традиционных нефтяных моторных топлив. К тому же природный газ при сгорании в двигателях выделяет меньшее количество вредных веществ (ВВ) с отработавшими газами (ОГ) по сравнению с нефтяными моторными топливами [1].

При эксплуатации транспорта в России большое значение имеют природно-климатические факторы, так как зона холодного климата в нашей стране занимает около 70 % (центральные и северные части России, Западная Сибирь, Восточная Сибирь и Дальний Восток). В частности, при низкотемпературной эксплуатации транспорта происходит изменение расхода топлива [2] и выбросов вредных веществ с отработавшими газами [3]. Данные изменения приводят к неверной корректировке норм и нормативов технической эксплуатации, в том числе норм расхода топлива, а также к некорректному расчету платы за выбросы вредных компонентов с ОГ. Более объективную корректировку нормирования топлива и платы за загрязняющие вещества можно получить, основываясь на приспособленности автомобилей к условиям низких температур воздуха при работе на КПГ и бензине [4]. Оценка приспособленности позволяет выявить, при работе на каком топливе (бензин или природный газ) автомобиль более адаптирован к температурному изменению условий эксплуатации.

Под приспособленностью понимают объективное свойство автомобиля сохранять заложенные в него при проектировании и производстве показатели качества на заданном уровне при эксплуатации в условиях, отличных от стандартных, номинальных для данной машины. Для количественной оценки приспособленности автомобилей к эксплуатации в низкотемпературных условиях используется коэффициент приспособленности. Если данный коэффициент равен или выше 1, значит транспортное средство более приспособлено к изменению условий эксплуатации по сравнению со стандартными. Соответственно значение коэффициента меньше 1 свидетельствует о низкой приспособленности автомобиля к изменению условий эксплуатации.

Согласно ГОСТ Р 41.49–2003 [5] замеры содержания вредных компонентов CO, CH и NO_x в ОГ и расхода топлива были проведены по циклу ESC (European Stationary Cycle), состоящему из 13 режимов устойчивой работы двигателя при температуре воздуха на входе в двигатель от –35 до 25 °С. Согласно методике [6] замеряются параметры работы двигателя: частота вращения коленчатого вала и тормозной крутящий момент, а также часовой расход топлива, температура воздуха на входе в двигатель, содержание CO, CH и NO_x в ОГ.

Для определения содержания ВВ использовались анализирующие приборы. Газоанализаторами ГИАМ-27-04 с блоком-восстановителем БВ-1 измеряли содержание оксидов

азота, а ГИАМ-29 – содержание оксидов углерода и углеводородов (гексан). Расход бензина определяли расходомером, состоящим из измерительной колбы, встроенной в бензопровод. Расход природного газа рассчитывался согласно справочным таблицам [7].

По результатам обработки стендовых испытаний [6, 8] с учетом требований стандарта расчетов удельных [5] и фактических значений выбросов, полученных при обработке эксперимента по методике [9], а также расхода топлива были рассчитаны коэффициенты приспособленности (рисунок) двигателя ЗМЗ 4062.10 к низкотемпературным условиям эксплуатации [6].

Численные значения параметров математической модели изменения коэффициентов приспособленности при низкотемпературных условиях эксплуатации по выбросам ВВ с ОГ и расходу топлива, полученные для бензина и КПГ с использованием программы «Regress 2.5», имеют вид:

$$A_q^{\text{бен}} = 1,02 - 7,09 \cdot 10^{-5} (t_b - 8)^2; \quad (1)$$

$$A_q^{\text{КПГ}} = 1,03 - 7,50 \cdot 10^{-5} (t_b - 5)^2; \quad (2)$$

$$A_{\text{ОГ}}^{\text{бен}} = 0,92 + 1,96 \cdot 10^{-4} (t_b - 1)^2; \quad (3)$$

$$A_{\text{ОГ}}^{\text{КПГ}} = 1,28 + 7,38 \cdot 10^{-4} (t_b + 1)^2, \quad (4)$$

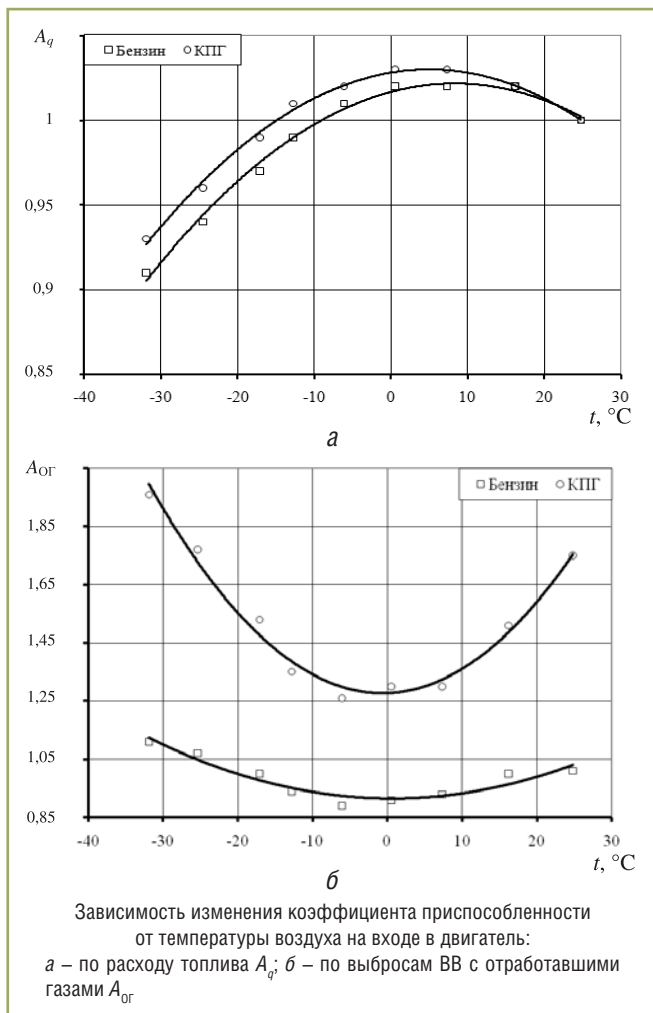
где t_b – фактическая температура воздуха.

Анализ графических зависимостей (см. рисунок а), а также математических моделей (1) и (2) позволяет сделать

вывод, что двигатель, работающий на КПГ, менее восприимчив к изменению температуры воздуха на входе в двигатель по сравнению с бензином [6, 8]. Это можно объяснить тем, что при работе на бензине в области отрицательных значений температур ухудшается смешивание воздуха с топливом и его испарение. У природного газа эта проблема стоит менее остро, так как он поступает в двигатель в виде газовой фазы и соответственно легче смешивается с воздухом. Следовательно при работе на КПГ двигатель более приспособлен к изменению температуры окружающего воздуха, нежели при использовании бензина.

Проведя анализ графических зависимостей (см. рисунок б), а также математических моделей (3) и (4), можно отметить, что двигатель при работе на КПГ более восприимчив к изменению температуры воздуха на входе в него по сравнению с бензиновым двигателем.

Однако количество выбрасываемых вредных веществ с ОГ значительно ниже, чем при использовании бензина. Это можно объяснить физико-химическими свойствами природного газа, его агрегатным газообразным состоянием, а также более полным сгоранием [1]. При использовании КПГ двигатель также более приспособлен к изменению температуры окружающего воздуха по сравнению с бензиновым двигателем.



Литература

1. Морев А.И., Ерохов В.И. Эксплуатация и техническое обслуживание газобаллонных автомобилей. – М.: Транспорт, 1988. – 184 с.
2. Методические рекомендации «Нормы расхода топлива и смазочных материалов на автомобильном транспорте» от 14.03.2008 г. № АМ – 23-р.
3. Иванов А.С., Анисимов И.А. Токсичность газодизельных автомобилей в низкотемпературных условиях эксплуатации // Транспорт Урала. – 2010. – № 1 (24). – С. 83-86.
4. Резник Л.Г., Ромалис Г.М., Чарков С.Т. Приспособленность автомобилей к низким температурам воздуха: учеб. пособие. – Тюмень, ТГУ, 1985. – 105 с.
5. ГОСТ Р 41.49-2003. Единообразные предписания, касающиеся сертификации двигателей с воспламенением от сжатия и двигателей, работающих на природном газе, а также двигателей с принудительным зажиганием, работающих на сжиженном нефтяном газе, и транспортных средств, оснащенных двигателями с воспламенением от сжатия, двигателями, работающими на природном газе, и двигателями с принудительным зажиганием, работающими на сжиженном нефтяном газе, в отношении выбросов вредных веществ. – М.: Изд-во стандартов ИПК, 2004. – 150 с.
6. Чишкиев Е.М. Оценка приспособленности газобаллонных автомобилей к низкотемпературным условиям эксплуатации по расходу топлива и токсичности отработавших газов: дисс. ... канд. техн. наук. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2011. – 189 с.
7. РД 3112199-1095-03. Руководство по организации и эксплуатации газобаллонных автомобилей, работающих на компримированном природном газе. – Минтранс РФ, ФГУП НИИАТ. – 2002. – 59 с.
8. Чишкиев Е.М., Анисимов И.А. Влияние низких температур воздуха на расход топлива и выбросы вредных веществ с отработавшими газами автомобилей, эксплуатирующихся на компримированном природном газе и бензине // АГЗК+АТ. – 2010. – № 5 (53). – С. 32-37.
9. Чишкиев Е.М., Анисимов И.А. Методика расчета массовых и удельных выбросов вредных веществ в отработавших газах двухтопливных автомобилей в низкотемпературных условиях эксплуатации // АГЗК+АТ. – 2010. – № 6 (54). – С. 4-7.



Итоги автопробега «Голубой коридор – 2012»

Е.Н. Пронин,
исполнительный директор НГА

24 сентября 2012 г. в Москве завершился второй международный пробег газовых автомобилей «Голубой коридор – 2012», начавшийся также в Москве 8 сентября.



Старт пробега в Москве на АГНКС МГПЗ 8 сентября 2012 г.

Пробег проходил через действующие газозаправочные станции по маршруту Москва – Орша – Минск – Брест – Варшава – Радом – Тыхы – Острава – Прага – Вайден – Заттельсдорф – Вальддорф – Метц – Мо – Париж – Валенсьен – Брюссель – Антверпен – Дуйсбург – Эссен – Порта Вестфаллика – Кёнигслюттер – Берлин – Познань – Варшава – Брест – Барановичи – Минск – Орша – Москва. Организаторами, спонсорами и участниками автопробега «Голубой коридор – 2012» и приуроченных к нему мероприятий стали:

- Белоруссия – ОАО «Белтрансгаз»;
- Германия – E.On Ruhrgas, EBC, Gazprom Germania, Verbundnetz Gaz;
- Испания – NGVA Europe;
- Норвегия – IGU;
- Польша – CNG expert, Gas Com, Iveco Poland, MB Poznan, NGV Polska, PIMOT, Solbus;
- Россия – ОАО «Газпром», ООО «Газпром экспорт», Iveco Russia, ОАО «КАМАЗ», MAN Trucks & Bus Russia, ГУП «Мосавтохолд», Национальная газомоторная ассоциация, ООО «ПариТЭК», Volkswagen Russia;
- Словения – Slovensky PP;
- США – G Plus;
- Франция – Gaz Marketing and Trading, GDF Suez, GNVERT;
- Чехия – Czech Gas Association, E.On Ceska republika, Prazska plynarenska,a.s., RWE Ceska republika, TVAJA CNG, Vemex, VITKOVICE Doprava a.s.

В автопробега «Голубой коридор – 2012» по традиции участвовали метановые автомобили заводского производства: автобусы MAN и Solbus; грузовики КАМАЗ, Iveco Daily и Iveco Stralis; грузовые фургоны Mercedes Spriner; легковые машины Citroen Berlingo, FIAT Multipla, Mercedes E-200, Opel Zafira, Scoda Octavia, VW Caddy, VW Passat, VW Touran. По мере



Слева – на центральной площади Минска представлены отечественные и зарубежные газобаллонные автомобили; справа – участники круглого стола в Минске на осмотре экспозиции газовой техники

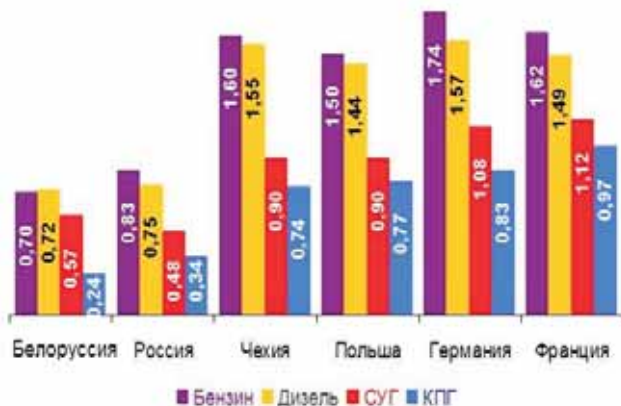
продвижения метанового каравана по Европе какие-то машины присоединялись к нему, а какие-то покидали его. Костяк колонны составили машины из России, Белоруссии и Польши. Всего же в пробеге 2012 г. участвовали 18 автомобилей различных марок и моделей.

Особенностью пробега стало то, что в нем приняли участие две машины на сжиженном природном газе (СПГ): автобус Solbus и тягач Iveco Stralis, который транспортировал мобильную криогенную заправочную станцию. Если оснастить эту машину еще и испарителем высокого давления, то получится автономный универсальный заправочный комплекс СПГ/КПГ.

С учетом подъезда к заправкам и гостиницам, объезда ремонтируемых участков дорог и непродолжительного плутания по городкам и деревням маршрут, естественно, был не самым коротким и составил 6700 км, что на 600 км больше, чем планировалось на подготовительном этапе. Путешествие длилось 17 дней. Среднесуточный перегон составил примерно 400 км.

Как известно, новая волна газовых автопробегов началась в 2008 г. Пробег 2012 г. стал самым протяженным. Всего же во время газовых ралли пройдено 17,6 тыс. км. Автопробеги доказали, что даже в условиях недостаточно развитой метановой заправочной сети, используя передвижные заправщики, можно проехать от Екатеринбурга до Парижа и от Балтийского моря до Белого.

В начале новой эпохи метановых автомобилей АГНКС строили на удалении примерно 200 км – средний пробег на одной заправке. Некоторые современные автомобили заводского изготовления проходят после заправки не менее 300 км, но большинство имеют запас хода 400 км и более. Интересно, что самый дешевый автомобильный метан участники



Розничные цены на топливо в сентябре 2012 г., евро/экв.л



На АГНКС в Варшаве



автопробега увидели не в газодобывающей России, а в Белоруссии. Там же на АЗС сетевых компаний цены на топливо указаны в четырех валютах: белорусских и российских рублях, долларах США и евро. Фактические цены на моторное топливо по маршруту движения газовых автомобилей показаны на графике.

Во время автопробега 2012 г. по маршруту движения были проведены 11 выставок газовых автомобилей и круглых столов с участием представителей органов муниципально-го управления, политических организаций, бизнеса, газовой и автомобильной промышленности, средств массовой информации, общественности. Центральное мероприятие прошло в Брюсселе (Бельгия). Там в мероприятиях автопробега приняли участие чиновники Европейской комиссии, депутаты Европарламента, представители общественных организаций.

Впечатление от брюссельских встреч противоречивое. С одной стороны создается ощущение, что европолитики начинают осознавать актуальность перехода к массовому использованию природного газа в качестве моторного топлива. С другой – не оставляет уверенность, что за справедливые условия соревнования на топливном рынке придется еще долго-долго бороться. Депутат Европарламента от ХДС Германии Иоахим Целлер на рабочем завтраке с организаторами газового автопробега заявил: «Слишком много стран, слишком много интересов для поиска компромисса». А пока в Брюсселе ищут компромисс, две трети европейцев будут жить в условиях повышенного содержания загрязняющих веществ в атмосфере и «наслаждаться» канцерогенными выхлопами дизельных автомобилей. Плохое качество воздуха становится причиной преждевременной смерти ежегодно для половины миллиона европейцев. Это обходится Европе в 790 млрд евро в год.



Круглый стол и осмотр выставки газовых машин в Брюсселе

Чтобы помочь политикам и чиновникам, участники круглых столов старались донести до них главную мысль: по сравнению с другими видами имеющегося в коммерческой реализации моторного топлива только природный газ обладает полным комплексом преимуществ над дизельным топливом, бензином и пропан-бутановыми смесями – он экологически чище, обеспечен ресурсами, безопаснее в обращении, возобновляем, дешевле, используется на всех видах транспорта, его инфраструктура может применяться для других видов топлива.

И все же, как бы ни важны были контакты в Брюсселе и других европейских столицах, существенно больший интерес представляет практический опыт эксплуатации газовых автомобилей в ходе достаточно напряженного режима автопробега в течение более чем полумесяца. С точки зрения работы транспортных средств на природном газе не возникло совершенно никаких затруднений. Машины двигались ходко, в горку взлетали легко, в обгоне чувствовали себя уверенно, маневренности не теряли. В общем – машины как машины. Только тише, чище и дешевле.

А вот с инфраструктурой газомоторного рынка в Европе дела обстоят не так хорошо. Нельзя сказать, что ситуация с АГНКС катастрофическая. Однако неудобства, сдерживающие развитие газомоторного рынка, пока встречаются часто и во многих странах. К ним можно отнести следующие:



Этапы автопробега – Прага (слева) и Париж

- малая численность АГНКС в европейских странах (исключение Германия и Италия) сдерживает рост парка газовых автомобилей;
- неудобное расположение заправочных мощностей на второстепенных и третьестепенных дорогах затрудняет поиск станции, увеличивает холостой пробег;
- отсутствующие или незаметные дорожные указатели на газовые заправки осложняют проезд к ним;
- заправочные узлы различной конструкции неизбежно ведут к снижению уровня безопасности – появляется необходимость в переходниках (а их использование не везде разрешено) и наполнителях (повышение затрат на персонал);
- различие единиц измерения в коммерческом учете газа (кубические метры или килограммы) создает неудобство для водителей;
- различный состав природного газа на АГНКС может привести к повышенному расходу и дополнительным затратам;
- ограничение давления на выходе компрессора приводит к неполной заправке автомобиля и сокращению пробега;
- ограничение самообслуживания на АГНКС;
- ограниченный объем баллонов сокращает пробег автомобиля на одной заправке газом;
- слаборазвитая инфраструктура СПГ исключает дополнительные возможности по организации заправки и увеличению пробега;
- неудобство системы приема оплаты за газ ограничивает возможности покупателей;
- дилеры автопроизводителей зачастую не знают о наличии газовых автомобилей в продуктовой линейке или не желают их предлагать, что не способствует развитию парка.

Хотелось бы отметить и положительный опыт, который может быть рекомендован для широкого распространения. В частности речь идет о современных подходах к строительству метановых заправок.

Первый подход достаточно широко распространен в Европе: интеграция в традиционную АЗС газозаправочного пункта (ГЗП блочно-контейнерного исполнения включает компрессорный блок, аккумулятор газа, системы автоматики, газораздаточные колонки) на один-два заправочных шланга. ГЗП обслуживается по графику, расчеты за газ осуществляются через кассовый центр АЗС.

Второй подход, характерный для Франции и Бельгии, вероятно, получит массовое распространение. Речь идет о строительстве полностью автоматических АГНКС и газозаправочных пунктов вообще без участия персонала. Такие АГНКС и ГЗП оснащены полным комплектом технологического оборудования, а в дополнение к нему



Финиш автопробега «Голубой коридор – 2012» в Берлине



системами телеметрии, дистанционного аудио- и видеомониторинга, расчетно-кассовым оборудованием для приема электронных карт и наличных денег.

Такие автоматические АГНКС и ГЗП могут быть гаражными (на территории автотранспортных предприятий) и общего пользования (так сказать «в чистом поле»). Автоматизация заправки должна быть дополнена технологиями радиочастотной идентификации для автоматической валидации сосудов высокого давления без участия человека.

Пробег метановых автомобилей «Голубой коридор – 2012» стал еще одним шагом на пути к созданию комфортной среды для автомобилей, использующих в качестве моторного топлива природный газ и биометан. Кроме того, он конкретно показал, в каких направлениях нужно двигаться, где и что надо делать в ближайшее время, с кем и в какой области нужно сотрудничать.

Blue Corridor-2012: Lessons Learned

Eugene Pronin, NGVRUS

At 08:00 on the 8th of September 2012 eight methane powered vehicles hit the road from Moscow to Paris and back for the 'Blue Corridor-2012' NGV Rally.

This project was organized and coordinated by Russian Gazprom, German E.On Ruhrgas and NGVRUS – regional association embracing stakeholders from several European countries. The Rally was also sponsored by European Business Congress (EBC) and NGVA Europe. The NGV caravan visited 30 European cities and towns including seven capitals: Moscow, Minsk, Warsaw, Prague, Paris, Brussels, and Berlin. 11 Round table were held along the route.

CNG and LNG trucks, buses and passenger cars from six countries were joining the caravan and leaving it at different national legs. There were MAN Lion's City, Solbus, KAMAZ, Iveco Daily, Iveco Stralis, Mercedes Spriner, Citroen Berlingo, FIAT Multipla, Mercedes B Class, Mercedes E-200, Opel Zafira, Scoda Octavia, VW Caddy, VW Passat, VW Touran.

Three major groups of European NGV market stakeholders were represented in the Rally:

gas companies – Beltransgaz, E.On Česká republika, E.On Ruhrgas, Gaz Marketing and Trading, Gazprom export, Gazprom Germania, GDF Suez, Prazska plynarenska, RWE Česká republika, Slovenský PP, Vemex, Verbudnetz Gaz;

equipment manufacturers – Gas Com, Iveco Poland, Iveco Russia, KAMAZ, MAN Trucks & Bus Russia, MB Poznan, Mosavtoholod, PIMOT, Raritek, Solbus, TVAJA CNG, VÍTKOVICE Doprava, Volkswagen Russia;

NGV organizations – CNG expert, Czech Gas Association, EBC, GNVERT, IGU, NGV Polska, NGVA Europe, NGVRUS.

Rally participants learned a lot from this 6700 km and 17 days long voyage. Following are the challenges that European NGV industry has to meet in order to reach the goal of 50 million NGVs in Europe by 2020.

- CNG filling infrastructure is poorly developed, except for Germany and Italy.

- Few CNG filling stations are located along international motorways.

- LNG/LCNG filling infrastructure is not developed at all. Very few isolated sites can not support NGV traffic across Europe.

- Location of many CNG stations is not convenient. They are hard to find and reach. Drivers have to waste much gas (money) to and from the site.

- Road signs to filling stations are few and badly visible.

- CNG filling connectors of different design confuse 'illiterate' customer and require adapters, which in turn may compromise safety.

- Automatic CNG stations are few.

- Self service is not universally allowed.

- Payment systems differ and sometimes are not convenient for transient NGV drivers.

- Measuring units differ from country to country (kg or m³) which confuses drivers about amount of filled methane.

- Indication of prices for CNG (in kilograms) and LPG (in liters) misinforms customers about real value of fuels.

- Different composition of gas (for example L-gas or H-gas) may lead to higher gas consumption and cost.

- Limitation of the compressor filling pressure leads to shorter travel distance and higher cost.

- More OEM NG models are needed, particularly in the heavy duty sector: trucks and buses.

- Few LNGV models are available from the factory.

- Dealers do not know about gas vehicles or do not want to encourage customers to buy NGVs.

The above findings are true. However, Blue Corridor 2012 proved that even today it is possible to drive on CNG from Yekaterinburg, Russia to Paris, France. That is across almost all of Europe from east to west and – based on the experience of earlier NGV rallies - from the Baltic to the Black see.

Электромобили ОАО «АВТОВАЗ»

С.Н. Ивлев,

начальник отдела автомобилей с альтернативными энергоустановками
ОАО «АВТОВАЗ»,

Г.К. Мирзоев,

профессор, советник вице-президента ОАО «АВТОВАЗ», к.т.н.

Электромобиль – перспективное направление автомобильной промышленности, интерес к которому проявили отечественные производители. В статье описаны его преимущества, приведена техническая характеристика электромобиля разработки АВТОВАЗа.

Ключевые слова: электромобиль, гибридный автомобиль, асинхронный электродвигатель с постоянными магнитами, тяговая аккумуляторная батарея, удельные характеристики, постоянный ток, переменный ток, КПД, надежность, эффективность.

Development of the EV at JSC «AVTOVAZ»

Electric vehicle is the future technology in automobile industry. And our domestic manufacturers are developing it too. So, what are the main advantages of it?

Keywords: electric vehicle, hybrid electric vehicle, induction motor, synchronous electric motor with permanent magnets, traction battery, specific features, direct current, alternating current, energy conversion efficiency, reliability, efficiency.

В последние несколько лет наблюдается очередной всплеск интереса к электромобилям. Активизировались все процессы по разработке проектов, изготовлению прототипов и подготовке серийного производства электромобилей практически во всех развитых странах. Этот всплеск интереса к электромобилям далеко не первый в их достаточно долгой истории. Тому несколько причин.

Первая – это серьезный прогресс в развитии источников тока. Современные литиевые аккумуляторы уже способны обеспечить пробег между зарядками 150...300 км в реальных городских условиях движения, а это укладывается в ежедневный пробег 70...95 % автовладельцев во всем мире. Вторая – ресурс батареи таков, что его хватит на весь срок службы автомобиля, то есть не менее чем на 200...300 тыс. км. Это значит, что

несмотря на еще высокую стоимость аккумуляторов, батареи полностью окупаются в процессе эксплуатации, а цена будет падать по мере развития их массового производства. Третья причина – батареи, способные при ускоренном заряде за 15...30 мин восполнять 80 % своей энергии, практически не нуждаются в обслуживании и достаточно безопасны.

Ну и наконец последняя причина обусловлена экологическими проблемами: необходимость соблюдения все более жестких норм токсичности и выбросов диоксида углерода усложняет и делает дорожке двигатель внутреннего сгорания (ДВС), в то время как обстановка в крупных городах продолжает ухудшаться. Поэтому федеральные и муниципальные власти ряда стран или мегаполисов заключают договоры с производителями электромобилей о сотрудничестве,

инвестируют средства в производство электромобилей, строительство и обслуживание инфраструктуры их зарядки, а также предоставляют дотации и налоговые скидки покупателям таких машин. Можно привести следующие примеры: разработка в Германии федеральных программ по инвестированию 2 млрд евро в производство электромобилей, 10-летнему освобождению от автомобильного налога их покупателей и организации бесплатных парковок; соглашение между альянсом Renault–Nissan и городским советом Барселоны, который подтвердил намерения установить почти 200 станций подзарядки и смены батарей для электромобилей; принятие четырехлетней программы Еврокомиссии по продвижению электромобилей в странах Европы. Многие автомобильные фирмы уже серийно выпускают электромобили – BYD e6 Electric Vehicle, Ford TRANSIT connect electric, Nissan LEAF, Tesla Motors Roadster Sport 2.5, Mitsubishi i-MiEV, Smart Fortwo electric drive, THNK City. А в ближайшее время (2011-2012 гг.) практически все ведущие мировые автопроизводители намерены выйти на рынок со своими моделями таких машин, среди которых BMW Active E, Coda Automotive Sedan, Ford Focus electric, Mitsubishi I, Peugeot Urban EV, Renault Fluence Z.E., Renault Kangoo Z.E., Renault Kangoo Maxi Z.E., Renault Twizy Z.E., Renault Zoé Z.E., Fiat 500 minicar, Audi e-tron, Honda Fit EV, Mazda BEV, Tesla Motors Model S, Toyota FT-EV, Toyota RAV4 EV, Volvo C30.

Производство серийных электромобилей явно идет по нарастающей, и уже в ближайшем будущем будет достаточно большой выбор современных транспортных средств на электрической тяге (табл. 1).

До недавнего времени в качестве тяговых электродвигателей в электромобилях использовались почти исключительно коллекторные электродвигатели постоянного тока, что объяснялось простотой систем управления ими. Существующая ранее элементная база силовой электроники не позволяла создавать компактные и надежные системы управления двигателями переменного тока.

Таблица 1

Динамика продаж гибридных автомобилей (HEV), электромобилей с расширенным пробегом (EREV) и чистых электромобилей (BEV)

Электромобили	2007	2008	2009	2010	2011
Hybrid Electric Vehicle (HEV)	352,27	313,67	290,29	273,83	101,8
Extended Range Electric Vehicle (EREV)	–	–	–	326	1,78
Battery Electric Vehicle (BEV)	–	–	–	19	945

В настоящее время в качестве тяговых электродвигателей электромобилей, предназначенных для эксплуатации на дорогах общего пользования, применяются электродвигатели переменного тока двух основных типов: асинхронные (Inductor Motor) и синхронные с постоянными магнитами, часто называемые бесщеточными двигателями (Brushless Direct Current Motor). По сравнению с электродвигателями постоянного тока они имеют такие неоспоримые преимущества, как значительно более высокие удельную мощность, эффективность, надежность и долговечность. Переход на электродвигатели переменного тока был обусловлен появлением принципиально новых электронных компонентов, что сделало возможным максимально эффективное управление такими электродвигателями.

Асинхронные электродвигатели имеют значительно более простую конструкцию, более высокую надежность и, как минимум, вдвое дешевле. Главным преимуществом синхронных электродвигателей являются более высокие (в 1,5-2 раза) удельные характеристики максимальной мощности и крутящего момента за счет применения современных

высокоэффективных магнитов, правда, существенно повышающих стоимость конструкции, а также несколько больший КПД в зоне малых и средних частот вращения. Это обусловлено отсутствием необходимости тратить энергию для создания магнитного потока.

Долгое время тяговыми батареями в различных электромобилях служили специальные свинцово-кислотные аккумуляторы, обладающие низкими удельными показателями (30...40 Вт·ч/кг) и недостаточной долговечностью. Затем им на смену пришли щелочные аккумуляторы: никель-кадмиевые (45...60 Вт·ч/кг), а следом никель-металлгидридные (до 70 Вт·ч/кг). Но их характеристики при значительно большей стоимости также были далеки от требуемых.

В качестве аккумуляторных батарей в настоящее время наиболее перспективными считаются литий-ионные (от 90 до 120 Вт·ч/кг) и литий-полимерные (до 140 Вт·ч/кг) батареи, так как они, обладая приемлемой стоимостью, позволяют получить большой запас энергии в заданных габаритах. Дополнительным преимуществом литий-ионных батарей является отсутствие так называемого эффекта памяти, благодаря

чему максимальная отдаваемая энергоемкость батареи в процессе эксплуатации при неполном разряде не снижается (батарею не требуется постоянно доводить до состояния глубокого разряда). Кроме того, существует возможность совершенствования технологии их изготовления и увеличения допустимого зарядного тока, что позволяет сократить продолжительность заряда до 10...20 мин при использовании специальных зарядных станций.

Очень перспективны появившиеся сравнительно недавно литий-полимерные аккумуляторы, но они пока имеют недостаточно широкий диапазон рабочих температур и слишком высокую стоимость.

При выборе аккумуляторов для тяговой батареи необходимо принимать во внимание не только их энергетические и мощностные характеристики, но, учитывая высокую стоимость, и показатели по безопасности, надежности и долговечности, оцениваемые общим числом циклов зарядки-разрядки или суммарным пробегом, а также возможность размещения в отведенном для батареи пространстве.

В настоящее время разработкой и производством различных систем литиевых аккумуляторов для многих сфер применения занимаются десятки фирм по всему миру. В нашей стране также активизировались работы в этом направлении. Так, АК «Ригель» сейчас выпускает кобальтовые литий-ионные аккумуляторы и монтирует линию по производству перспективных литий-марганцевых аккумуляторов, разработанных в Китае.

Таблица 2

Технические характеристики тяговых электродвигателей переменного тока

Модель	Тип	Номинальные			Максимальные			Размеры (d×l), мм	Масса, кг	Цена, \$	
		мощность, кВт	напряжение, В	частота вращения, мин ⁻¹	частота вращения, мин ⁻¹	мощность, кВт	момент, Н·м				КПД, %
MES200-250W	Асинхронный	30	240	2850	9000	71	240	91	235×391	73	6900
BRUSA HSM 6.17.12	Комбинированный	31	320	3500	11000	70	223	96	284×245	53	23200
Azure Dynamics AC55	Асинхронный	25	312	2000	8000	59	280	89	343×447	106	3500

Особо стоит отметить в России ООО «ЛИОТЕХ» (совместное предприятие китайской компании Thunder Sky и государственной корпорации «Российская корпорация нанотехнологий»), созданное для реализации проекта по производству современных литий-ионных аккумуляторов с использованием фосфата железа. Немного уступая литий-кобальтовым аккумуляторам в удельной энергии из-за меньшего напряжения, новые аккумуляторы значительно выигрывают в максимально допустимой мощности при разрядке и зарядке. Последнее позволяет эффективно использовать рекуперацию энергии при торможении и ускоренный заряд от стационарных зарядных станций. При существенно более низкой стоимости эти аккумуляторы имеют большой диапазон рабочих температур, высокую безопасность и самый большой на данный момент срок службы, а число циклов заряда-разряда достигает 3000. Так, предварительные расчеты, сделанные для электро-мобиля на базе автомобилей семейства «Калина», показывают, что при среднем пробеге 120 км между зарядками, что соответствует менее 80 % глубины циклирования, суммарный пробег электро-мобиля на одном комплекте батарей составляет не менее 300 тыс. км. На ОАО «АВТОВАЗ» разработан проект электро-мобиля ВАЗ-1817 ELLADA на базе автомобиля «Калина» ВАЗ-1117 универсал.

Тяговый электродвигатель для электро-мобиля ВАЗ выбирался с учетом обеспечения максимальной скорости и динамики автомобиля снаряженной массой 1200...1250 кг с трансмиссией, имеющей постоянный коэффициент передачи. Для удовлетворения требований по динамике необходим электродвигатель с максимальными мощностью (не менее 60 кВт) и моментом (не менее 230 Н·м). При этом для движения со скоростью 110...120 км/ч в течение достаточно длительного времени необходимо, чтобы часовая мощность электродвигателя достигала 30...40 кВт. В результате анализа продукции зарубежных фирм, производящих электродвигатели, предпочтение было отдано асинхронному электродвигателю с

Основные характеристики электро-мобиля ВАЗ-1817 ELLADA

Снаряженная масса, кг	1250
Число мест	4
Максимальная скорость, км/ч	130
Разгон до 100 км/ч, с.....	14
Пробег по комбинированному циклу, км	150
Электродвигатель	
тип.....	Асинхронный
охлаждение	Жидкостное
максимальная мощность, кВт	60
масса с трансмиссией, кг	86
Батарея	
тип.....	Литий-фосфат-железо
энергоёмкость, кВт/ч	23
суммарная масса, кг	270
срок службы, цикл.....	3 000
Зарядное устройство	Бортовое
Время зарядки от бытовой сети, ч.....	8
Система тормозов	
гидравлическая	С вакуумным усилителем
электрическая.....	С рекуперацией энергии



Электро-мобиль ELLADA

Подкапотное пространство

Комбинация приборов

жидкостным охлаждением MES200-250 (Швейцария), приемлемыми параметрами и ценой для единичных закупок (табл. 2).

Выбор тяговой аккумуляторной батареи проводился исходя из требуемой энергии, необходимого напряжения и удобства компоновки батареи в кузове автомобиля. В результате был выбран аккумулятор Thunder Sky LYP90AHNA, емкостью 90 А·ч, производства Китая.

Дальнейшее развитие проекта электро-мобиля ELLADA на АВТОВАЗе связывается с совместной работой завода и ряда предприятий России по производству отечественных компонентов и комплектующих тягового электропривода, не уступающих по

своим характеристикам зарубежным аналогам. Это, конечно, тяговая аккумуляторная батарея ООО «ЛИОТЕХ», а также электродвигатель, контроллер управления, зарядное устройство, преобразователь постоянного тока и другие необходимые узлы, требуемые для установки на электро-мобиль.

Интерес отечественных производителей большой. И если его помножить на возможность поддержки федеральным правительством внедрения ряда льготных мероприятий в этой области для автопроизводителей и потребителей по примеру зарубежных стран, то будущее отечественного электро-мобиля может быть вполне перспективным.

Линейный генератор с двигателем внутреннего сгорания со свободным поршнем

А.А. Кецарис,

доцент МАМИ, к.т.н.,

В.И. Духанин,

ведущий конструктор МЗСА, аспирант МАМИ

В статье рассмотрена интегральная силовая установка, состоящая из двигателя внутреннего сгорания (ДВС) со свободным поршнем и линейной электрической машины. Приведен обзор разработок и прототипов, виды компоновочных схем линейного генератора с ДВС со свободным поршнем. Проанализированы динамика и резонансная характеристика, система управления. Обсуждено применение альтернативных видов топлива.

Ключевые слова: двигатель внутреннего сгорания со свободным поршнем, линейная электрическая синхронная машина.

Free Piston Linear Generator. Structure and Application Perspective

A.A. Ketsaris, V.I. Dukhanin

In this paper an integral power plant consisting of an internal combustion engine with free piston and linear electric machine is described. An application and prototype survey, free piston generator configuration sorts is showed. The dynamic and the resonance response, a control system is analyzed. Alternative fuel application is discussed.

Keywords: linear machine, permanent-magnet machine, free piston linear generator.

В настоящее время, когда все очевиднее видна ограниченность запасов углеводородного ископаемого топлива, человечество интенсивно ищет новые типы силовых установок как для транспортных средств, так и для стационарных энергетических устройств. Безусловно, в перспективе преобладающей станет электрическая тяга,

однако сейчас внедряются переходные решения – гибридные транспортные средства, электромобили с батареями на топливных элементах, транспортные средства на газе и т.п.

По удельной энергоемкости углеводородное топливо пока еще вне конкуренции для массового автомобилестроения. Это говорит о том, что, по крайней мере, в ближайшие 20-30 лет ДВС будет господствовать в автомобилестроении. Однако сам двигатель интенсивно эволюционирует, превращаясь из чисто механического устройства в электромеханический комплекс с электронным управлением.

Рассмотрим малоизвестный в отечественной технической литературе тип силовой установки – линейный генератор возвратно-поступательного действия с двигателем внутреннего сгорания со свободным поршнем.

Исторически двигатель внутреннего сгорания со свободным поршнем известен достаточно давно, но использовался ограниченно, например, в воздушных компрессорах или как генератор газов для последующей работы в турбоустановке. Однако, начиная с 90-х гг. прошлого века, в мире начались исследования двигателя со свободным поршнем в сочетании с гидравлическим насосом в качестве силового агрегата автомобиля, а затем и в сочетании с линейным генератором электрического тока (рис. 1).

Двухцилиндровый двигатель оппозитной схемы имеет поршневую группу, состоящую из двух поршней, соединенных жестким штоком. Циклически повторяющееся действие давления газов в процессе сгорания топлива сообщает поршневой группе возвратно-поступательное движение. В плоскости симметрии штока между поршнями на нем закреплена подвижная магнитная система, которая размещается внутри конструкции статора с системой обмоток. При возвратно-поступательном движении штока с закрепленной на нем магнитной системой

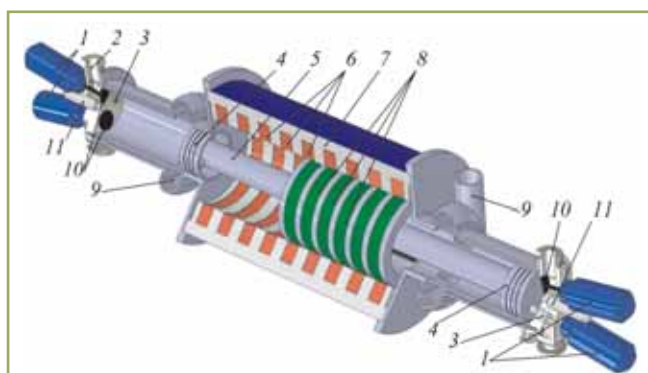


Рис. 1. Линейный генератор со свободным поршнем (ЛГСР): 1 – электропривод клапана; 2 – выпускное отверстие; 3 – свеча зажигания; 4 – поршень; 5 – шток; 6 – катушки статора; 7 – магнитопровод статора; 8 – постоянные магниты; 9 – впускной патрубков; 10 – клапан; 11 – инжектор

внутри статора и взаимодействии их магнитных полей возникает электродвижущая сила в обмотках статора.

В сущности это и есть принцип действия генератора со свободным поршнем, производящего электроэнергию непосредственно при линейном движении поршня без промежуточных механических звеньев. Кроме того, электрическая машина, работая в режиме двигателя, обеспечивает старт ДВС. Электронная система управления контролирует движение поршней для обеспечения оптимального термодинамического цикла, а также осуществляет позиционирование поршней, предотвращая их соударение с головками цилиндров.

Этот принцип преобразования энергии имеет следующие преимущества:

- уменьшение числа движущихся деталей до одного поршневого узла за счет исключения коленчато-шатунного механизма;
- повышение жесткости и механической надежности конструкции двигателя;
- повышение ресурса и механического КПД двигателя вследствие отсутствия шатунов, что приводит к исключению действия боковых сил на зеркало цилиндра и уменьшению трения в цилиндро-поршневой группе;
- исключение стартера для запуска ДВС, так как электрический генератор может работать и как линейный электродвигатель;
- возможность динамического изменения степени сжатия в каждом такте не механическими способами, а установкой параметров электронной системы управления;
- использование различных топлив (бензин, природный газ, водород, биогаз, биотопливо), которое обусловлено возможностью электронной настройки системы управления;
- реализация оптимальных режимов сгорания топлива, в том числе и гомогенного воспламенения бедных смесей (режим сгорания HCCI), что снижает вредные выбросы;
- снижение расходов на производство.

Разработки и прототипы

В исследованиях, закончившихся созданием опытных работающих устройств и прототипов серийных образцов, прежде всего, следует выделить европейский проект [1] для исследования электрического генератора со свободным поршнем FPEC¹ (рис. 2). На этот проект Европейским Сообществом в 2002 г. был выделен грант стоимостью 3,8 млн евро на три года. В нем приняли участие ведущие европейские компании и исследовательские институты: AB Volvo Corporation, ABB AB, Университет технологии Чалмерса и Королевская высшая техническая

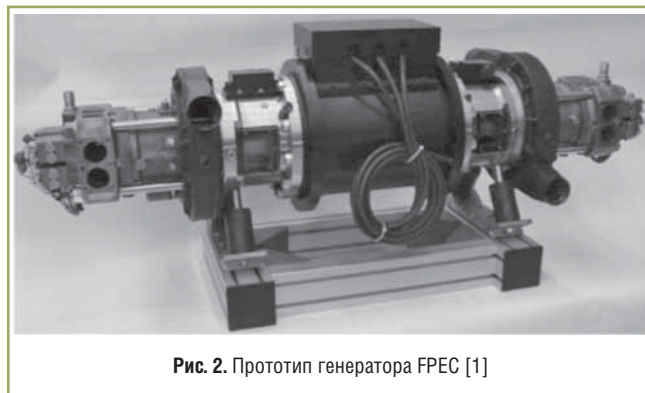


Рис. 2. Прототип генератора FPEC [1]

школа (Швеция), Noax V.V. и Innas B.V. (Нидерланды), Университет Шеффилда (Великобритания), Институт топлива Франции.

Задачи проекта:

- разработка чистой и энергетически эффективной технологии для транспортных силовых установок, основанной на принципе электрического генератора с ДВС со свободным поршнем;
- реализация режима воспламенения от сжатия бедных топливных смесей HCCI²;
- реализация дизельного цикла;
- разработка испытательной установки мощностью 25 кВт для демонстрации технологии FPEC с удельной мощностью не менее 0,6 кВт/кг, удовлетворяющей требованиям к выбросам транспортных двигателей Евро-5.

Разработка проекта сопровождалась достаточным количеством опубликованных научных работ [2, 3].

В США исследования в этой области проводятся рядом компаний и исследовательских организаций. В национальной лаборатории Сандиа (Ливермор) уже более десяти лет выполняется программа исследований Free-Piston Engine под руководством П.В. Бларигана (P.V. Blarigan) по созданию прототипа генератора мощностью 15 кВт [4, 5].

Компанией Sunpower (США, штат Огайо, Афины) разработан ряд линейных генераторов с двигателем Стирлинга для NASA и министерства обороны. Диапазон электрических мощностей моделей генераторов 40...1000 Вт [6].

Отделением электрического оборудования университета Западной Вирджинии разработан и испытан генератор со свободным поршнем мощностью 500 Вт, который включал два оппозитных цилиндра с электроискровым зажиганием. Постоянные магниты были установлены на подвижной поршневой группе, а катушки размещены в пазах сердечника статора. Цель исследования – использование процесса HCCI и повышение диапазона мощности устройства [7].

1 FPEC – Free Piston Energy Converter











2 HCCI – Homogeneous Charge Compression Ignition

Австралийская компания Pempek Systems начала в феврале 2001 г. проект энергетического модуля на основе ДВС и в 2004 г. создала прототип модуля с ДВС искрового зажигания с оригинальной запатентованной системой газообмена. В настоящее время фирма анонсирует энергетический модуль для грузового транспортного средства с электрической мощностью 100 кВт [8, 9].

Экспериментальные энергетические установки создаются на базе университетов и научных центров. В университете Регины (США) разработан генератор с линейным ДВС с одним и двумя цилиндрами. Электрическая

выходная мощность достигала 1 кВт. Применялся линейный генератор, который также служил и мотором.

Исследовательская группа факультета электрического оборудования чешского технического университета (Прага), в которую вошли П.Немечек, О.Высоки и др., исследовала систему управления двухтактным двигателем со свободным поршнем на реальной действующей лабораторной установке. Была разработана схема управления системой двигатель-генератор, исследованы законы управления, получены экспериментальные результаты [10, 11].

Число цилиндров	Компоновка ЛГСП	
	без отбойной пневматической камеры	с отбойной пневматической камерой
1		 
2		
3		
4		
8		

В Аэрокосмическом центре Германии в Институте концепций транспорта группа под руководством Ф.Риндеркнехта создала экспериментальную установку с одноцилиндровым двигателем и пневматической отбойной камерой в качестве аккумулятора энергии поршня.

Экспериментальные работы проводятся также в Малайзии, Южной Корее, Китае.

Следует заметить, что в научно-методическом отношении исследования в этой области стали мощным стимулом появления целого направления научных работ по теории линейных электрических машин, методов их расчета, систем управления.

Компоновочные схемы линейного генератора со свободным поршнем

Компоновочные схемы ЛГСП (таблица) можно классифицировать по следующим признакам:

- по числу цилиндров (камеры сгорания);
- по наличию или отсутствию пневматических отбойных камер;
- по наличию или отсутствию динамической сбалансированности.

Число цилиндров определяется требуемой мощностью силового блока и заданной компоновкой.

Применение отбойных пневматических камер вызвано необходимостью аккумулирования кинетической энергии поршневой группы для последующего такта сжатия. Они используются в известных экспериментальных установках, позволяя за счет объема газа (воздух) в камере динамично изменять степень сжатия и рабочий ход поршня. Однако длительная работа такой установки представляется проблематичной, поскольку несмотря на условия адиабатического сжатия–расширения газа в отбойной камере он неизбежно будет сильно нагреваться, поглощая энергию из системы и вызывая необходимость высокотемпературной теплоизоляции. К тому же в отчетах по таким установкам о длительной работе последних не сообщается.

Требование динамической балансировки любой силовой установки, размещаемой на транспортном средстве, является одним из определяющих. Для этого используется комбинация модулей с противоположно движущимися поршневыми группами. В противном случае для применения установки необходимо использование демпфирующей подвески или системы демпферов.

В конструкции, состоящей из одной камеры сгорания и линейного генератора (таблица, рис. а), для возврата поршневой группы в исходное положение на такте сжатия в системе необходим аккумулятор электрической энергии (аккумуляторная батарея, суперконденсаторы). Линейная электрическая машина во время такта сжатия должна работать в двигательном режиме. Система

является несбалансированной, что можно устранить ее установкой в вертикальном положении на демпфирующем основании.

Конструкция (таблица, рис.б), используемая в европейском проекте FPES [2], имеет две камеры, позволяющие силовой установке работать непрерывно, однако и здесь имеется динамическая несбалансированность.

Конструкция из трех камер сгорания с противоположно движущимися поршневыми группами (таблица, рис. в) динамически сбалансирована. Подобная компоновка увеличивает продольный размер конструкции, что может стать проблемой при размещении ее в двигательном отсеке транспортного средства.

Конструкции (таблица, рис. г, д) представляют собой модульное решение силовой установки и являются сбалансированными. Компоновка ЛГСП (таблица, рис. д левый) была применена в конструкции модуля FP3 [9].

В конструкциях (таблица, рис. е-к) предусмотрены пневматические отбойные камеры, а конструкции (таблица, рис. ж-к) являются динамически сбалансированными.

Динамика и резонансная характеристика линейного генератора со свободным поршнем

Для анализа взаимозависимости конструктивных и газодинамических параметров рассмотрим (рис. 3) динамику возвратно-поступательного движения подвижного элемента, включающего поршни, шток и подвижную часть электрической машины. При этом принимаем следующие допущения [12, 13]:

- впуск, выпуск рабочего тела и сгорание происходят мгновенно при постоянном объеме;
- расширение и сжатие рабочего тела являются адиабатическими процессами;
- рабочий процесс описывается pV -диаграммой идеального цикла Отто;
- электрическая машина работает как однофазная;
- в электрической машине не учитываются межзубцовое сцепление, эффект «магнитной пружины» и другие эффекты неравномерности распределения магнитного поля.

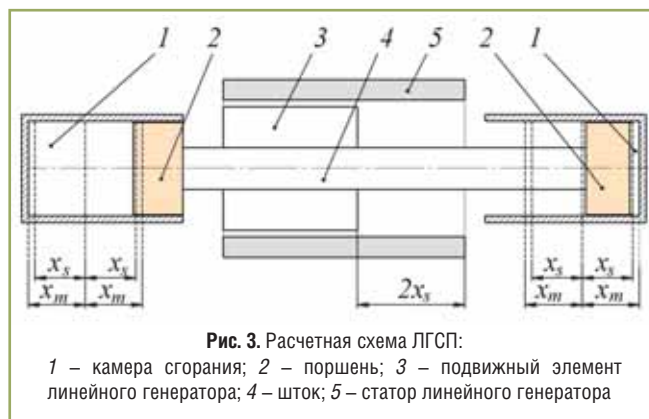


Рис. 3. Расчетная схема ЛГСП:

1 – камера сгорания; 2 – поршень; 3 – подвижный элемент линейного генератора; 4 – шток; 5 – статор линейного генератора

Основное уравнение динамики линейного возвратно-поступательного движения подвижного элемента записывается в виде уравнения баланса сил [13]

$$p_L(x) S_B - p_R(x) S_B - F_E(x) - F_f(x) = m\ddot{x}, \quad (1)$$

где $p_L(x)$ – мгновенное давление в левом цилиндре; S_B – площадь днища поршня; $p_R(x)$ – мгновенное давление в правом цилиндре; $F_E(x)$ – электромагнитные силы; $F_f(x)$ – силы трения; m – масса подвижного элемента, включающего поршни, шток и подвижную часть электрической машины; x – положение подвижного элемента.

Проводя анализ термодинамического процесса, получаем развернутое уравнение динамики

$$m\ddot{x} = S_B p_1 \left(\frac{2r}{r+1} \right)^n \left[\left(1 + \frac{x}{x_m} \right)^{-n} - \left(1 - \frac{x}{x_m} \right)^{-n} \right] + \quad (2)$$

$$+ \frac{Q_{in}(n-1)}{x_m - x_s} - F_E(x) - F_f(x),$$

где p_1 – давление в цилиндре в конечной точке расширения; $r = (x_m + x_s)/(x_m - x_s)$ – степень сжатия; x_m – координата точки симметричного положения поршней относительно цилиндров; x_s – половина рабочего хода; $n = C_p/C_v$ – коэффициент адиабаты; Q_{in} – количество переданной теплоты в процессе сгорания.

Для анализа свободного колебательного процесса допустим, что теплота сгорания, силы трения и электромагнитные силы равны нулю, тогда

$$m\ddot{x} = S_B p_1 \left(\frac{2r}{r+1} \right)^n \left[\left(1 + \frac{x}{x_m} \right)^{-n} - \left(1 - \frac{x}{x_m} \right)^{-n} \right]. \quad (3)$$

Принимая $\bar{x} = \frac{x}{x_m}$, получаем уравнение в безразмерном виде

$$\ddot{\bar{x}} = \frac{p_1 S_B}{m x_m} \left(\frac{2r}{r+1} \right)^n \left[(1 + \bar{x})^{-n} - (1 - \bar{x})^{-n} \right]. \quad (4)$$

Для анализа проведем линейное разложение функции $\left[(1 + \bar{x})^{-n} - (1 - \bar{x})^{-n} \right]$ в ряд Тейлора вблизи точки $\bar{x} = 0$

ограничиваясь двумя первыми членами ряда. Получаем уравнение гармонических колебаний

$$\ddot{\bar{x}} = -2n \frac{p_1 S_B}{m x_m} \left(\frac{2r}{r+1} \right)^n \bar{x}. \quad (5)$$

Заменим параметр x_m на более удобную величину рабочего хода L_S

$$x_m = L_S \frac{r+1}{2(r-1)}. \quad (6)$$

Тогда

$$\ddot{\bar{x}} = -\frac{k}{m} \bar{x}, \quad (7)$$

где $k = \frac{p_1 S_B}{L_S} 4n \left(\frac{r-1}{r+1} \right) \left(\frac{2r}{r+1} \right)^n$.

Тогда частота возвратно-поступательного движения f в линеаризованном случае записывается как

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{p_1 S_B}{L_S} 4n \left(\frac{r-1}{r+1} \right) \left(\frac{2r}{r+1} \right)^n}. \quad (8)$$

Двигатель со свободным поршнем ведет себя так же, как система из пружины и груза. Газ в камерах сгорания действует подобно нелинейным пружинам. Система из пружины и груза совершает возвратно-поступательное движение на собственной частоте, поэтому предпочтительно устанавливать рабочую частоту, близкую или равную этой частоте, так как это требует минимальной энергии.

Двигатель работает в двухтактном цикле, таким образом каждый рабочий ход генерирует электрическую энергию. Следовательно, увеличение рабочей частоты дает рост средней выходной мощности. Из (8) можно заключить, что для достижения высокой собственной частоты необходимо стремиться к уменьшению массы подвижного элемента m , длины рабочего хода L_S , а также к увеличению площади днища поршня S_B . Однако частота ограничивается продолжительностью сгорания, то есть для обеспечения воспламенения, сгорания и продувки частота колебаний не должна быть слишком большой.

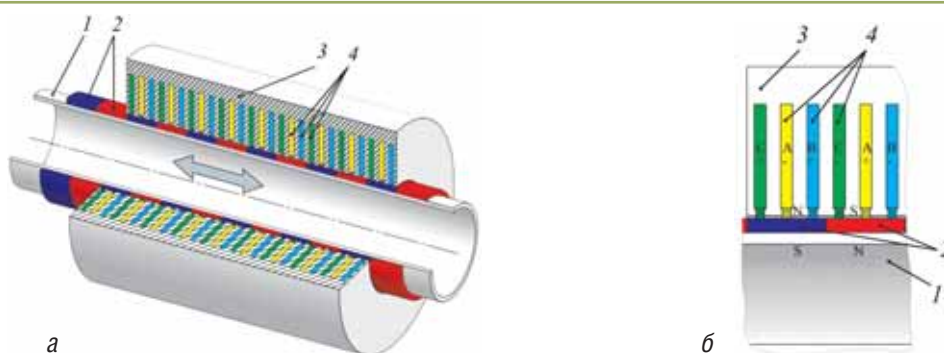


Рис. 4. Схема линейной электрической машины.

а – общий вид машины: 1 – несущая труба (титан); 2 – кольцевые постоянные магниты; 3 – ярмо статора; 4 – фазные обмотки; б – схема чередования фаз

Линейный электрический генератор

В работе вращающихся электрических машин – как двигателей, так и генераторов – особое внимание во время проектирования уделяется стабильности скорости вращения как номинальному режиму работы. Разгон и торможение электрической машины рассматриваются в качестве переходных кратковременных режимов работы.

Работа линейного генератора, наоборот, состоит из периодически повторяющихся разгона и торможения, меняющих свое направление. Вследствие этого работа линейного генератора носит в значительной степени нестационарный характер, что отрицательно сказывается на КПД генератора. В отличие от вращающихся электрических линейная машина имеет краевые обмотки, создающие краевой эффект, также снижающий КПД генератора. Генерируемый электрический ток имеет, как правило, дополнительные гармоники, приводящие к снижению коэффициента мощности ($\cos \phi$), что накладывает дополнительные условия при проектировании преобразовательного устройства.

Для компактной компоновки электрической машины и ее размещения в моторном отсеке транспортного средства была выбрана синхронная цилиндрическая машина с возбуждением от редкоземельных постоянных магнитов, закрепленных на подвижном элементе (рис. 4).

Система управления линейным генератором со свободным поршнем

Задача управления ЛГСП является многоуровневой. При использовании ЛГСП в гибридных транспортных средствах можно выделить три системы управления:

I. Распределение энергии в тяговой системе транспортного средства, определяющее использование бортовых источников энергии (батареи или суперконденсаторы) и преобразователя энергии углеводородов в электричество (ЛГСП в рассматриваемом случае) в виде кинетической энергии, реализуемой на колесах транспортного средства в определенных транспортных циклах движения. Полагая, что энергия, вырабатываемая

первичным источником энергии (ЛГСП), накапливается в буферных аккумуляторах, можно считать, что работа ЛГСП не зависит от тягового цикла движения транспортного средства.

II. Управление ДВС осуществляется регулированием расхода топливно-воздушной смеси, соответствующего заданной мощности, посредством приводов топливных инжекторов, воздушного дросселя и регулированием момента зажигания.

III. Управление линейной электрической машины обеспечивает контролируемое движение соединенных штоком поршней посредством регулирования токов в обмотках при достижении максимального КПД отводимой энергии, что осуществляется управлением транзисторными силовыми мостами. На этом уровне управления непосредственно реализуется отдельный термодинамический цикл. Исходные параметры для каждого цикла поступают из системы уровня II (время начала и длительность впрыска топлива, время подачи импульса на зажигание).

Основными задачами системы управления линейной электрической машины являются:

- запуск двигателя;
- поддержание стабильного режима работы при постоянной нагрузке;
- компенсация пропусков зажигания;
- работа в переходных режимах;
- остановка двигателя;
- режим тестирования свойств топлива в процессе работы на основе базовой таблицы свойств топлив для оптимизации термодинамического цикла.

Необходимо отметить, что вопрос построения системы управления по сравнению с другими аспектами линейного генератора со свободным поршнем, несмотря на его центральное значение, очень скудно освещается в научной литературе.

Структура управления показана на рис. 5. Управляемыми переменными являются выходная мощность P_{out} и момент зажигания t_{ign} , которые управляются посредством использования электрической силы F_{el} и энергии

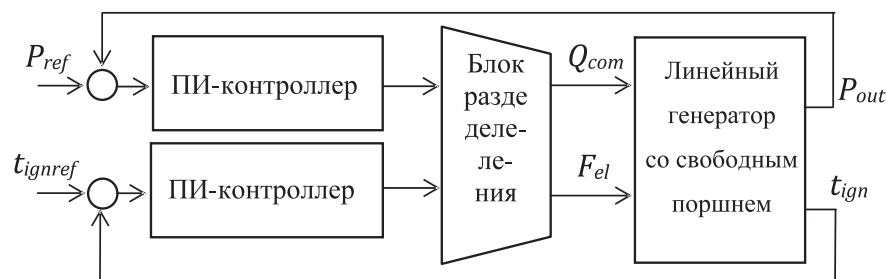


Рис. 5. Схема контроллера линейного генератора со свободным поршнем [13]

топлива Q_{comb} , как управляющих сигналов. Этот контроллер был разработан на ранних стадиях европейского проекта FPES, и работа его происходит следующим образом:

1. Когда давление в камере сгорания достигает пикового значения в цикле сгорания, запускающий сигнал посылается в контроллер, который запускается всякий раз на каждом рабочем ходе.

2. ПИ-контроллеры управляют временем зажигания t_{ign} и средней выходной мощностью P_{out} . Каждый раз запускаемые ими новые выходные значения посылаются в блок разделения.

3. ЛГСП является системой с многими переменными, и выходные сигналы P_{out} и t_{ign} зависят как от количества теплоты Q_{comb} , выделяемого в процессе сгорания топлива, так и от силы линейного генератора F_{el} . В блоке разделения снижается порядок этой перекрестной связи, что достигается посредством использования матрицы со значениями, определяемыми из RGA-анализа, подробно излагаемого в теории управления со многими переменными.

4. После блока разделения соответствующие значения Q_{comb} и F_{el} посылаются как входы для ГСП.

Использование альтернативных видов топлива

Как уже упоминалось выше, линейный генератор со свободным поршнем, благодаря возможности изменения степени сжатия в процессе работы и организации оптимального термодинамического процесса сгорания топлива, способен работать на разных топливах. Для этого необходимо изменять настройки в электронной таблице свойств топлив контроллера. Кроме того, контроллер, работая в режиме тестирования характеристик топлива (адаптивный режим), способен получить термодинамические характеристики топлива, загрузить их в электронную таблицу и оптимизировать сам термодинамический цикл.

В двигателе со свободным поршнем и гибким термодинамическим циклом, управляемым линейным генератором, возможно достижение режима воспламенения от сжатия гомогенного заряда – режима сгорания бедных смесей (HCCI). Коэффициент избытка топлива бедной смеси приблизительно равен 0,3. Реализация его в обычных двигателях весьма затруднительна, поскольку нужно сочетать высокую степень сжатия, сравнимую с дизельным циклом, большую однородность и точную температуру топливно-воздушной смеси.

За счет однородного сгорания топлива и наличия многих центров воспламенения продолжительность сгорания меньше, чем при воспламенении от искры или от сжатия (дизель), что повышает эффективность термодинамического цикла и снижает выбросы оксидов азота.

В работе [5] сообщается об эксперименте использования биогаза, представляющего собой бедную смесь водорода, оксида углерода и метана, недостаточную для воспламенения при искровом зажигании, а для сжигания в дизельном двигателе требующую дополнительного топлива. Результат использования биогаза показал эффективность двигателя со свободным поршнем.

Таким образом, создание силовой установки с линейным генератором и двигателем внутреннего сгорания со свободным поршнем представляет собой сложную техническую задачу, решение которой лежит на стыке физики процесса сгорания топлива, теории систем управления быстропротекающими процессами в реальном времени, быстродействующей силовой электроники и техники линейных электроприводов. Однако на сегодняшний день все эти технологии можно считать достаточно глубоко разработанными, и проблема состоит лишь в разумном синтезе систем. Хотелось бы надеяться, что научный приоритет России в этой области не будет упущен.

Литература

1. Land transport and marine technologies, «RTD activities supported under the Growth Programme (p.20, FPES)», 2002.
2. **Arshad W.M., Sadarangani C., Bäckström T., Thelin P.** Finding an Appropriate Electrical Machine for a Free Piston Generator, Department of Electrical Engineering KTH, the Royal Institute of Technology, Stockholm, SWEDEN, 2002.
3. **Liu Y., Leksell M., Arshad W.M., Thelin P.** Influence of Speed and Current Profiles upon Converter Dimensioning and Electrical Machine Performance in a Free-Piston Generator, Department of Electrical Engineering KTH, the Royal Institute of Technology, Stockholm, SWEDEN, 2003.
4. **Blarigan P.V.** Advanced internal combustion electrical generator, Proceedings of the 2001 DOE Hydrogen Program Review, 2001.
5. **Blarigan P.V.** Project Free-Piston Engine, 2011 DOE Vehicle Technologies Program Annual Merit Review, 2011.
6. www.sunpower.com
7. **Atkinson C.M. and all.** Numerical Simulation of a Two-Stroke Linear Engine-Alternator Combination, SAE TECHNICAL PAPER SERIES, March, 1999.
8. **Carter D., Wechner E.** The Free Piston Power Pack: Sustainable Power for Hybrid The Free Piston Power Pack: Sustainable Power for Hybrid, Pempek Systems Pty. Ltd., Australia, 2003.
9. www.freepistonpower.com
10. **Němeček O.V.P.** Control of two-stroke free-piston generator. Faculty of Electrical Engineering, Czech Technical University Prague, Czech Republic, 2007.
11. **Vysoký O.** Linear Combustion engine as main energy unit for hybrid vehicles, TRANSTEC Prague, 2007.
12. www.centaurproject.com
13. **Hansson J.** Analysis and control of a hybrid vehicle powered by a free piston energy converter. Licentiate thesis in electrical system, Royal institute of technology (KTH), Stockholm, Sweden, 2006.

Управление мощностью в системе дополнительной энергетики большегрузного автопоезда

А.П. Фомин,

доцент кафедры МГМУ «МАМИ», к.т.н.

В статье рассматривается задача рационального управления мощностью в системе дополнительной энергетики большегрузного автопоезда, содержащей тяговый электропривод. Предложен алгоритм и устройства управления электроприводом для решения этой задачи при работе источников энергии как на традиционном, так и альтернативном топливах.

Ключевые слова: большегрузный автопоезд, система дополнительной энергетики, тяговый электропривод, система управления.

Power Control in Additional Energy System for Heavy Motor Vehicle

A.P. Fomin

This article deals with the improved power control in the additional energy system for heavy motor vehicles, which contains a traction electric drive. A control program and equipment for electric drive are proposed, which help to solve this task in case energy sources with traditional or alternative fuel are used.

Keywords: heavy motor vehicle, additional energy system, traction electric drive, control system.

В последнее десятилетие сохраняется тенденция увеличения перевозок автомобильным транспортом длинномерных тяжеловесных неделимых грузов специального и общехозяйственного назначения, таких как трубы большого диаметра, химические колонны, фрагменты или корпуса речных судов и др. Традиционно для таких перевозок используют автопоезда, состоящие из мощного тягача и полуприцепа и способные перевозить грузы массой 40...60 т по автодорогам общей сети. Для надежной доставки грузов в зимних условиях прицепные звенья активизируют, используя тяговый электропривод

с питанием от электрогенератора, устанавливаемого на тягач.

Подобные перевозки относительно редки, однако носят регулярный характер. В ряде случаев грузы являются однотипными. Все это определяет экономическую целесообразность применения в составе автопоезда серийно выпускаемых тягачей, например, КЗКТ и МАЗ, с двигателем мощностью 480 кВт и более, а также специальных полуприцепных звеньев с высокой грузоподъемностью, конструктивно приспособленных под определенный груз [1].

Дальнейший рост массы груза до 100...150 т вызвал необходимость повышения энерговооруженности автопоездов до 750...1000 кВт, увеличения числа полуприцепных звеньев до двух с обязательной активизацией одного из них, благодаря применению второго тягача, прицепляемого к автопоезду сзади, что обеспечивает быстрое формирование автотранспортного средства (АТС) с минимальными затратами. Однако на практике подобное АТС использовалось только для разовых перевозок, так как существенно увеличивался его размер, нужны были два водителя и предполагалось наличие балластного тягача без вертикальной нагрузки, что снижало проходимость АТС. Работа водителей требовала согласованности, поэтому устанавливалась надежная радиосвязь между ними, что, однако, не исключало возможность ошибок.

При регулярных перевозках более рационально использование дополнительного источника энергии на прицепном звене – автономного блока, состоящего из теплового двигателя (ТД) и тягового генератора, позволяющего наращивать энерговооруженность АТС без ухудшения эксплуатационных свойств. В этом случае к генератору подключаются тяговые электродвигатели колес, образуя систему дополнительной энергетики и активизации (СДЭА) автопоезда.

Двигатель СДЭА может иметь повышенную мощность, так как прицепное звено обычно тяжелее тягача. Однако более удобно использование однотипных двигателей равной мощности, если при этом обеспечивается нужная энерговооруженность.

Работа тепловых двигателей и трансмиссий автопоезда должна быть определенным образом согласована для получения высоких тягово-динамических и тягово-сцепных качеств. В основу согласования целесообразно положить принцип равного участия двигателей в транспортной работе

$$K_N = \frac{N_{II}}{N_T} = \frac{N_{II}}{N_{TM}}, \quad (1)$$

где N_n, N_{nm} – текущая и максимальная эффективные мощности дополнительного ТД (прицеп); N_t, N_{tm} – текущая и максимальная эффективные мощности ТД тягача.

Данное условие предполагает равную загрузку двигателей, что способствует их равномерному износу и повышению долговечности. Лишь при ограниченном сцеплении колес с дорогой и маневрировании может возникнуть необходимость изменения распределения мощности.

При увеличенной силе тяги целесообразно распределение сил тяги звеньев, пропорциональное их сцепным весам, что позволит наилучшим образом использовать сцепные возможности автопоезда

$$K_F = \frac{F_n}{F_t} = \frac{G_n^{cu}}{G_t^{cu}}, \quad (2)$$

где F_n, G_n^{cu} – текущая сила тяги и сцепной вес прицепного звена; F_t, G_t^{cu} – текущая сила тяги и сцепной вес тягача.

Может также рассматриваться принцип минимизации суммарных потерь мощности в трансмиссиях при заданном уровне входной мощности, соответствующий получению максимального КПД. Однако расчеты показали, что распределение мощности двигателей при минимуме потерь приводит к резкому (до 3-5 раз) искажению величины K_N , что может неблагоприятно отразиться на основных эксплуатационных свойствах АТС.

Обеспечение заданного распределения мощности между звеньями автопоезда с разнородными трансмиссиями делает необходимым сопоставление регулировочных характеристик трансмиссий и определение способа совместного управления ими. Известно, что гидромеханическая трансмиссия (ГМТ), обычно применяемая на мощных тягачах, обладает свойством саморегулирования. Ее характеристики не могут быть изменены в процессе движения. В то же время в тяговом электроприводе (ТЭП) используют системы автоматического

регулирования, дающие возможность изменять режим работы по заданным мощности и силе тяги. Поэтому рассматриваемую задачу целесообразно решать автоматической подстройкой электропривода под режим работы тягача (рис. 1).

На тягаче двигатель ТД связан с колесами К через трансмиссию ГМТ, на прицепном звене – через силовой генератор СГ и тяговые электродвигатели ТЭД. Датчики мощности тягача ДМТ и прицепного звена ДМП позволяют получить информацию о мощности их тепловых двигателей. Сигнал по мощности N_{zt} от ДМТ является задающим. По нему генератор СГ обеспечивает нагрузку дополнительного ТД, которая устанавливается изменением тока возбуждения с помощью регулятора тока РТВ. Электрическая мощность генератора может быть определена через его ток и напряжение известными способами [2]. По ней получен сигнал обратной связи N_n , пропорциональный механической мощности генератора, а значит и мощности ТД. Устройства, обеспечивающие получение сигнала N_n , условно объединены в датчик мощности ДМП. Сигнал управления ΔN , являющийся разностью сигналов N_{zt} и N_n , воздействует на регулятор РТВ, обеспечивая регулирование мощности на заданном уровне. Схема допускает изменение соотношения мощностей коррекцией настройки масштабного усилителя МУ. Для расширения скоростного диапазона, в котором необходимо обеспечить желаемое распределение мощности, предусматривается ступенчатое регулирование возбуждения тяговых электродвигателей, связанное с переключением передач в ГМТ или со скоростью движения АТС.

Определение крутящего момента ДТ с помощью датчика мощности тягача вызывает известные трудности. Поэтому рассматривались и другие варианты измерения мощности: по мгновенному расходу топлива и частоте вращения ТД; по входной и выходной частотам вращения гидротрансформатора трансмиссии.

Первый способ опирается на заводские характеристики ТД и измерение расхода топлива как разность расходов подаваемого двигателю топлива и избыточного, сливаемого обратно в бак. По текущим значениям данного расхода и частоты вращения вычисляется эффективная мощность. Очевидно, что этому способу свойственны погрешности косвенного определения мощности. Кроме того, текущий расход топлива может определяться с большой ошибкой, так как является разностью превышающих его двух

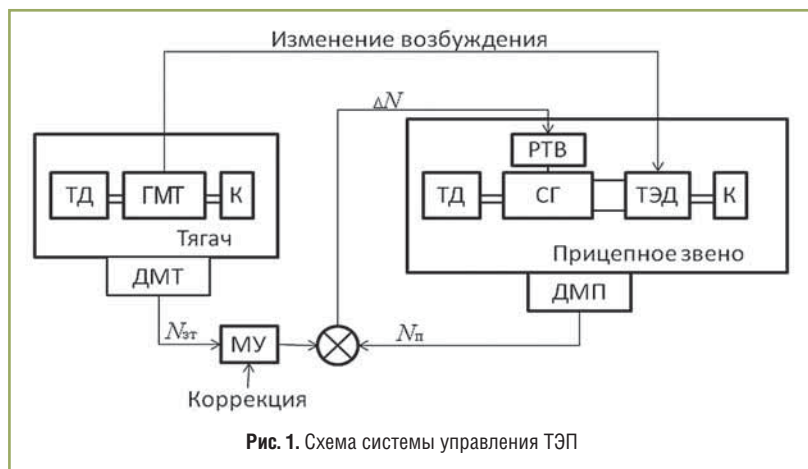


Рис. 1. Схема системы управления ТЭП

первичных расходов, также измеряемых с некоторой погрешностью. Следовательно, точность определения мощности не может быть достаточно высокой.

Второй способ также известен и применялся на практике в измерительных целях [3]. Он предполагает определение частот вращения насосного и турбинного колес гидротрансформатора (ГТ) и расчет его входной мощности по безразмерным характеристикам. Технически способ более прост по сравнению с предыдущим и мог бы использоваться в рассматриваемой системе управления. Однако и он не позволяет получить высокую точность измерений, так как не учитывает влияние многих побочных факторов, таких как разброс характеристик, изменение рабочей температуры и др. А в режиме блокировки ГТ, применяемом при движении на высоких скоростях, измерение мощности становится невозможным.

Таким образом, необходимо найти альтернативное решение, не требующее применения датчика мощности.

Предлагаемая система управления строится на базе задатчика режима СДЭА, формирующего сигналы управления по мощности и току тягового генератора. Задатчик преобразует угол α перемещения педали акселератора тягача в электрические сигналы управления по мощности и току. Первый сигнал реализует взаимосвязь α с заданной электрической мощностью генератора P_3 , второй – с током нагрузки I_3 . В основе задания режима лежит ряд требований.

1. При полном нажатии педали акселератора должен быть обеспечен отбор максимальной свободной мощности дополнительного ТД независимо от включения его вспомогательных нагрузок и изменения внешних условий без перегрузки двигателя в результате работы системы.

2. При сброшенной педали мощность P_3 должна стремиться к нулю.

3. В промежуточных положениях, соответствующих частичной мощности, должна быть обеспечена равная загрузка тепловых двигателей в среднем, то есть допускается разброс мгновенных значений K_N вокруг выбранного среднего.

4. В режимах трогания и движения с малой скоростью силы тяги звеньев должны распределяться пропорционально их сцепным весам.

Предполагается, что угол поворота α однозначно связан с частотой вращения на холостом ходу ТД тягача $n_{тхх}$, взятой по определенной регуляторной характеристике. Тогда каждому значению α соответствует эффективная мощность этого двигателя N_3 , которую будем считать заданной для ТД СДЭА, с коэффициентом пропорциональности K_N .

На рис. 2 показаны скоростные характеристики, приведенные на вал ТД тягача.

На внешнюю характеристику мощности N_T (кривая 1) нанесены нагрузочные характеристики 2 и 3, ограничивающие область совместной работы двигателя и гидротрансформатора при передаточном отношении последнего i , изменяющегося от 0 до 0,9. Показана также кривая мощности N_3 в функции частоты вращения ТД тягача n_T . Она проходит через точку максимума мощности N_T и в средней части приближается к среднеэксплуатационной нагрузочной характеристике. При малых частотах n_T , близких к холостому ходу, $N_3=0$. Такой характер зависимости соответствует указанным требованиям по распределению мощности двигателей. Основываясь на данной кривой можно определить мощность генератора P_3 по формуле

$$P_3 = (N_3 K_N - \Delta N_{сн}) \eta_{мп} \eta_r, \quad (3)$$

где $\Delta N_{сн}$ – потери мощности на собственные нужды и привод вспомогательных механизмов ТД СДЭА; $\eta_{мп}$ – КПД механического привода генератора; η_r – КПД генератора.

Определенную сложность представляет поиск среднеэксплуатационной нагрузочной характеристики, соответствующей среднему передаточному отношению ГТ $i_{ср}$. Эта величина зависит от ряда факторов – массы груза, коэффициента сопротивления качению, средней скорости движения. Для выяснения области изменения $i_{ср}$ были проведены расчеты на математической модели движения большегрузного автопоезда с СДЭА по эксплуатационной трассе с последующей экспериментальной проверкой. Анализ результатов показал, что для практических целей можно рекомендовать значения $i_{ср}$ в диапазоне 0,73...0,8, для автопоездов с удельной мощностью 3,5...6,0 кВт/т предпочтительна

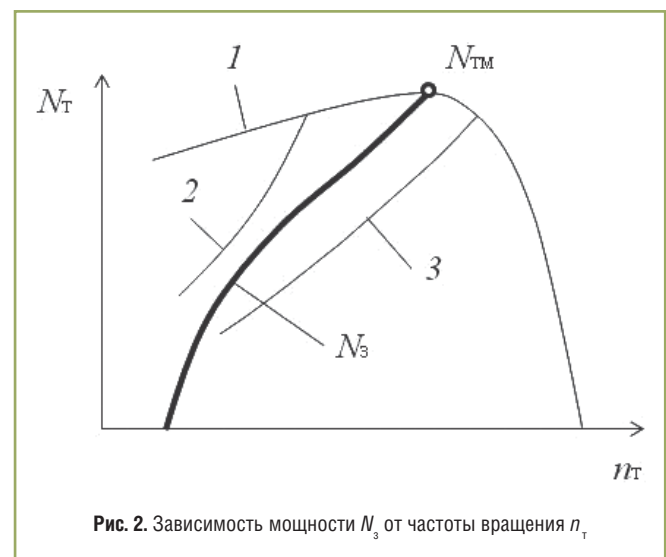


Рис. 2. Зависимость мощности N_3 от частоты вращения n_T

величина 0,73...0,75, при большей энерговооруженности 0,75...0,8.

По выбранному i_{cp} и безразмерным характеристикам ГТ найдем приведенный коэффициент первичного момента λ_n , затем искомую зависимость $N_3(n_T)$

$$N_3 = \lambda_n (n_T / u_{MT})^3 + \Delta N_{CT}, \quad (4)$$

где u_{MT} – передаточное число механической связи ТД и ГТ тягача; ΔN_{CT} – потери мощности на собственные нужды и привод вспомогательных механизмов ТД тягача.

Затем согласно (3) определим взаимосвязь $P_3(n_T)$.

Распределение мощности по величине K_N изменяется при трогании АТС и движении с малой скоростью. В этих режимах для ТЭП характерны меньшие, чем в ГМТ, потери мощности. Это приводит к относительному увеличению силы тяги прицепного звена. В то же время при коэффициентах сцепного веса 0,6...0,65, что реально на практике, сцепной вес прицепного звена может быть меньше, чем у тягача. Создаются предпосылки для активного и неконтролируемого водителем буксования колес прицепного звена, опасного из-за снижения курсовой устойчивости АТС. В связи с этим силу тяги F_n следует ограничить согласно (2) в зависимости от силы F_T , взятой при нулевом передаточном отношении ГТ.

Для этого случая по безразмерным характеристикам найдем приведенный коэффициент первичного момента λ_{n0} , коэффициент трансформации K_0 и определим силу тяги тягача при движении на первой передаче

$$F_{T0} = \frac{\lambda_{n0} K_0 n_T^2 u_T \eta_T}{r_T u_{MT}^2}$$

где u_T, η_T – передаточное число и КПД трансмиссии тягача; r_T – радиус качения его колес.

Тогда крутящий момент электродвигателя равен

$$M = \frac{F_{T0} K_F r_n}{m u_n \eta_n},$$

где r_n – радиус качения колеса прицепного звена; m – число тяговых электродвигателей; u_n, η_n – передаточное число и КПД механической передачи от электродвигателя к колесу.

Ток генератора I_3 определим через токи электродвигателей по крутящему моменту M и в соответствии со схемой подключения к генератору.

Мощность ТД тягача при трогании АТС рассчитаем аналогично (4) по формуле

$$N_{T0} = \lambda_{n0} (n_T / u_{MT})^3 + \Delta N_{CT}. \quad (5)$$

Полученные таким образом взаимосвязи иллюстрирует рис. 3.

На рис. 3 представлены регуляторные характеристики 1 и 2, каждой из которых (например, 1) в условиях

автопоезда соответствуют величина n_{TXX} , значение N_3 , определенное по (4) и лежащее на пересечении характеристик 1 и N_3 , и величина N_{T0} , определенная по (5) и лежащая на пересечении характеристик 1 и N_{T0} . Для расчета силы тяги F_{T0} находим частоту вращения n_{T0} , затем вычисляем крутящий момент электродвигателей M и ток генератора I_3 .

Функциональная схема системы автоматического регулирования (САР) по предложенной программе показана на рис. 4.

Тяговый генератор СГ, подключенный к электродвигателям (нагрузка), получает возбуждение от вспомогательного генератора ВГ через управляемый выпрямитель УВ. Он имеет датчики напряжения ДН и тока ДТ, предназначенные для получения сигналов обратной связи соответственно U_{oc} и I_{oc} . По ним с помощью умножителя УМ формируется сигнал обратной связи P_{oc} , пропорциональный электрической мощности генератора. Датчик частоты вращения ДЧВ механически связан с генератором. От него поступает сигнал обратной связи по частоте вращения двигатель-генераторной установки n_{oc} .

На тягаче установлен датчик перемещения педали акселератора, входящий в состав задатчика режима ЗР. По его сигналу α функциональные преобразователи ФП1 и ФП2 формируют сигналы задания электрической мощности и тока генератора соответственно P_3 и I_3 . В систему регулирования также входит четырехканальный блок управления возбуждением БУВ, на который приходят задающие сигналы и сигналы отрицательной обратной связи соответственно по мощности P_3 и P_{oc} , по току I_3 и I_{oc} , по напряжению U_3 и U_{oc} , по частоте вращения n_3 и n_{oc} . При этом первые два задающих сигнала зависят от режима работы тягача, третий может быть постоянным и ограничивает максимальное напряжение генератора.

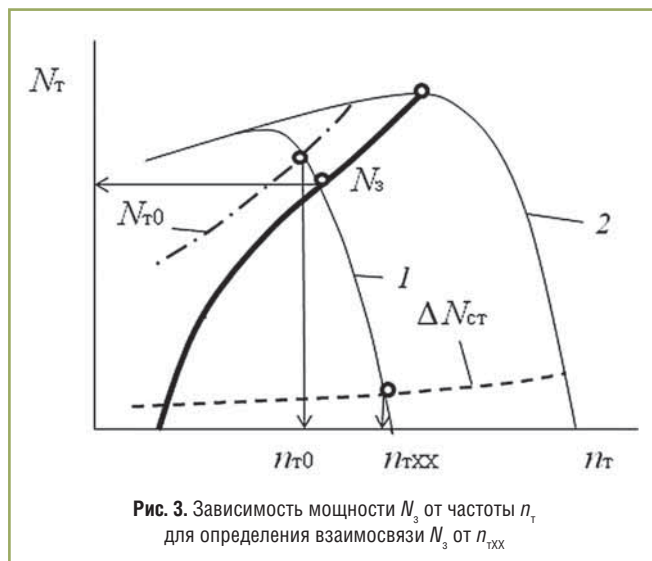


Рис. 3. Зависимость мощности N_3 от частоты n_T для определения взаимосвязи N_3 от n_{TXX}

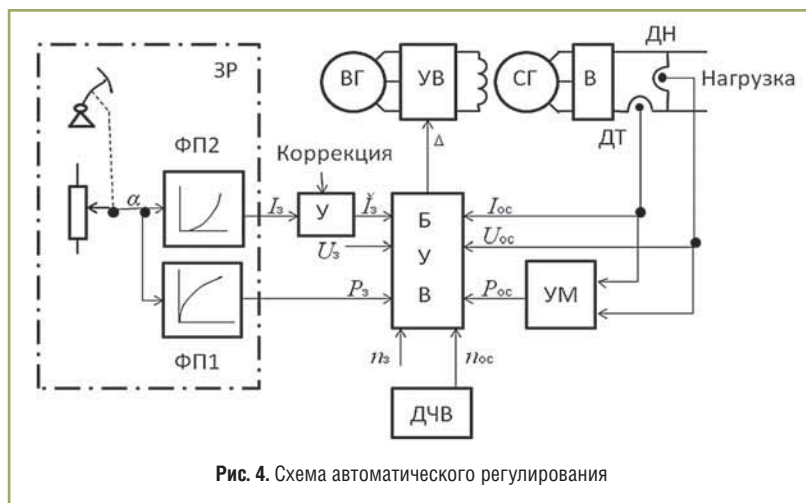


Рис. 4. Схема автоматического регулирования

Четвертый сигнал n_3 соответствует минимальной разрешаемой частоте вращения для текущей регуляторной характеристики дополнительного ТД. Масштабный усилитель У с переменным коэффициентом передачи позволяет водителю изменять соотношение сил тяги звеньев АТС в условиях низкого сцепления колес с дорогой и при маневрировании.

Принцип работы системы основан на поддержании на заданном уровне одного из четырех параметров путем формирования разностного сигнала управления Δ и воздействия им на выпрямитель УВ. Выбор параметра определяется по минимальной мощности, необходимой для поддержания заданного уровня. Так, при трогании автопоезда регулирование ведется контуром тока, и при этом действует относительно небольшая мощность. По мере разгона она увеличивается, и регулирование переходит к контуру мощности. На высоких скоростях возможно превышение максимального напряжения, и тогда в работу включается контур ограничения напряжения. Если от дополнительного ТД запрашивается чрезмерно большая мощность, приводящая к снижению сигнала n_{oc} ниже уровня n_3 , начинает действовать контур ограничения частоты вращения. Излишняя нагрузка снимается, и двигатель работает с максимальной подачей топлива при фиксированной частоте вращения.

Для приема необходимой нагрузки двигатель СДЭА предварительно выводят в заданный скоростной режим с определенной n_3 . Обычно в груженом состоянии АТС он соответствует предельной регуляторной характеристике, в порожнем – частичной характеристике из середины рабочего диапазона. Изменение скоростного режима в зависимости от груза позволяет сэкономить топливо и повысить моторесурс дополнительного ТД.

Предлагаемая САР была реализована и испытана на экспериментальных образцах большегрузных автопоездов с СДЭА. Она обеспечила реализацию описанной программы регулирования, необходимую устойчивость и надежность. В подавляющем большинстве режимов движения получено равномерное распределение мощности тепловых двигателей с отклонением средних значений в пределах 6...8 %, допустимых на практике.

В зимних испытаниях выявлено, что при отсутствии буксования колес тягача буксование колес прицепного звена

обычно не возникает. Лишь при резком нажатии на педаль акселератора в режиме трогания наблюдался ускоренный рост силы тяги прицепного звена, связанный с инерционностью силовой установки тягача и вызывающий опережающую пробуксовку колес прицепного звена. Для устранения этого эффекта была ограничена скорость нарастания сигнала задания тока.

Проведенные испытания, проходившие в разнообразных режимах движения и дорожных условиях, в том числе с блокировкой ГТ, подтвердили эффективность предложенного способа управления мощностью СДЭА. Данный способ не сложен в реализации, позволяет сохранить традиционные органы управления и упростить работу водителя. Он может успешно применяться в новых разработках, предусматривающих возможность наращивания энерговооруженности автопоездов при использовании стандартных тягачей.

Литература

1. **Гладов Г.И., Петренко А.М.** Специальные транспортные средства: Проектирование и конструкции. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2004. – 320 с.
2. **Погарский Н.А., Степанов А.Д.** Универсальные трансмиссии пневмоколесных машин повышенной единичной мощности. – М.: Машиностроение, 1976. – 224 с.
3. **Каноник И.В. и др.** Определение нагрузочных режимов гидромеханической передачи транспортных и тяговых машин с применением ЭВМ. В сб. «Применение электронных вычислительных машин для инженерных расчетов и исследований». – Минск: Изд. «Беларусь», 1966. – С. 35-47.

Математическая модель термодинамического цикла газового двигателя

В.А. Лукшо,
заведующий отделом ФГУП «НАМИ», к.т.н.

В статье рассматривается математическая модель термодинамического цикла для расчета мощностных и экономических показателей газового двигателя. Предложены способы расчета термического КПД, максимальных температур цикла и степени повышения давления для двигателей, работающих по различным термодинамическим циклам при использовании газовых топлив.

Ключевые слова: математическая модель, термический КПД, максимальная температура цикла, газовые топлива.

Mathematical Model of Thermodynamic Cycle of Gas Engine

V.A. Luksho

In article the mathematical model of a thermodynamic cycle for calculation of engine power and its economic indicators is considered. The mode of the thermal efficiency, the maximum cycle temperatures and degree of a pressure boost calculation for the engines working on various thermodynamic cycles at use of gaseous fuels is offered.

Keywords: the mathematical model, thermal efficiency, the maximum cycle temperature, gaseous fuels.

Повышение топливной экономичности ДВС, в том числе при использовании альтернативных топлив, требует оптимизации рабочих процессов и конструкции двигателей. Разрабатываются и реализуются новые кинематические схемы, способы смесеобразования и регулирования конструктивных параметров двигателя, которые прежде подразумевались нерегулируемыми – степень сжатия, рабочий объем, фазы газораспределения, турбонаддува и др.

На стадии концептуальной оценки разрабатываемых решений сохраняется необходимость проведения термодинамических тепловых расчетов двигателя с применением новых технических решений, в том числе при использовании газовых топлив.

При создании газовых двигателей с искровым зажиганием на базе дизелей могут быть применены различные способы снижения степени сжатия, в том числе цикл Миллера, в котором действительная (эффективная) степень сжатия уменьшается за счет укороченного такта впуска без изменения геометрической степени сжатия. И хотя Р.Миллер разрабатывал свой цикл для снижения теплонапряженности дизелей с высокой степенью наддува, его применение с учетом некоторых дополнений для газовых двигателей с искровым зажиганием позволяет обойтись минимальными изменениями в конструкции базового дизельного двигателя, и его успешная реализация будет способствовать не только созданию высокоэкономичного газового двигателя, но и снижению его себестоимости.

Для оценки различных вариантов конвертации дизелей с учетом реального рабочего тела и особенностей термодинамических циклов, а также для корректной постановки задач по достижению заданных экономических и мощностных показателей газового двигателя были разработаны методы расчета показателей цикла. В основе расчета лежит определение количеств подведенной и отведенной теплоты. В классической теории двигателей при определении термического КПД идеализированного цикла учитывается только теплота, подводимая и отводимая в изохорных и изобарных процессах, а сжатие и расширение принимаются как адиабатные процессы, то есть без теплообмена.

В настоящей работе эти процессы рассматриваются как политропные, при этом показатели адиабаты рабочего тела для каждого процесса имеют различные значения. Рабочее тело представляет собой смесь газов с различными соотношениями воздуха и топлива. Его параметры зависят от вида топлива, способа смесеобразования, а теплоемкость – от температуры и давления. Химический состав при сгорании меняется. Масса рабочего тела фиксирована и определяется его состоянием на момент закрытия впускного клапана.

Как известно, снижение действительной степени сжатия за счет укороченного такта впуска может быть достигнуто двумя способами – поздним и ранним закрытием впускного клапана (рис. 1).

Рассмотрим процессы подвода и отвода теплоты на отдельных участках цикла с разными способами управления закрытием впускного клапана.

Согласно первому закону термодинамики политропный процесс описывается как

$$dq = du + pdV = C_v dT + pdV = C_p dT - V dp = C_n dT. \quad (1)$$

Подведенная в цикле теплота:

способ 1 (рис. 1а)

$$q_1 = dq_{cz1} + dq_{z1z} + dq_{zb}; \quad (2)$$

способ 2 (рис. 1б)

$$q_1 = dq_{cz1} + dq_{z1z} + dq_{zb} + dq_{a1f1}. \quad (3)$$

Абсолютное значение отведенной в цикле теплоты:

способ 1

$$q_2 = dq_{bf} + dq_{fa} + dq_{ac}; \quad (4)$$

способ 2

$$q_2 = dq_{bf} + dq_{fa} + dq_{f1a} + dq_{ac}. \quad (5)$$

Количество теплоты для отдельных участков цикла:

способ 1

$$dq_{cz1} = C_v dT + pdV = C_v dT = C_v (T_{z1} - T_c); \quad (6)$$

$$dq_{z1z} = C_p dT - V dp = C_p dT = C_p (T_z - T_{z1}); \quad (7)$$

$$dq_{zb} = C_n dT = C_v \frac{n_2 - k_2}{n_2 - 1} (T_b - T_z); \quad (8)$$

$$dq_{bf} = C_v dT = C_v (T_f - T_b); \quad (9)$$

$$dq_{fa} = C_p dT = C_p (T_a - T_f); \quad (10)$$

$$dq_{ac} = C_n dT = C_v \frac{n_1 - k_1}{n_1 - 1} (T_c - T_a). \quad (11)$$

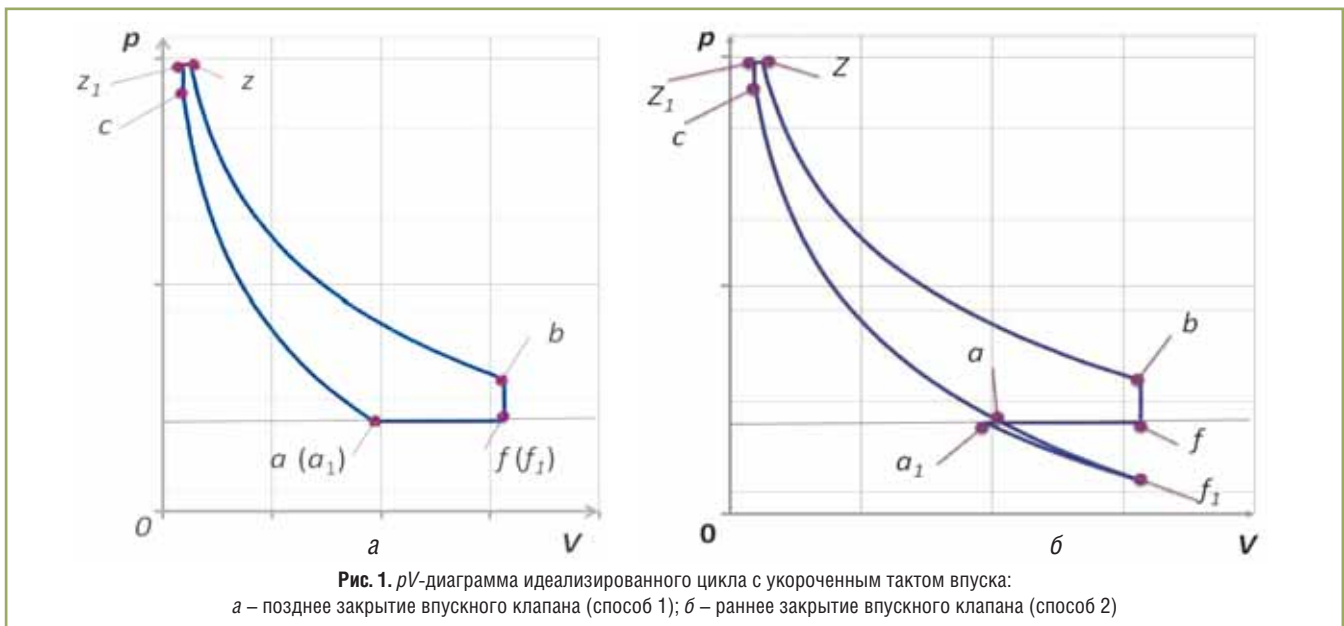
способ 2 (рис. 1б) дополнительно

$$dq_{aa1} = C_p dT = C_p (T_{a1} - T_a); \quad (12)$$

$$dq_{a1f1} = C_n dT = C_v \frac{n_3 - k_3}{n_3 - 1} (T_{f1} - T_{a1}); \quad (13)$$

$$dq_{f1a} = C_n dT = C_v \frac{n_4 - k_4}{n_4 - 1} (T_a - T_{f1}). \quad (14)$$

При этом способе момент закрытия впускного клапана и моменты начала сжатия и конца отвода теплоты (точки a и a_1) при постоянном давлении не совпадают так же, как не совпадают и моменты конца такта впуска и начала такта выпуска (точки f_1 и f).



Приведем вывод зависимости для определения термического КПД в общем виде для цикла, организованного по способу 1.

Вводимая теплота

$$q_1 = C_V((T_{z1}-T_c) + k_2(T_z - T_{z1}) + \frac{n_2 - k_2}{n_2 - 1}(T_b - T_z)). \quad (15)$$

Температуры для характерных точек цикла рассчитываем по известным зависимостям состояния газа с учетом того, что

$$C_V = p_a V_a / (T_a (k_1 - 1)). \quad (16)$$

После преобразования получим выражение для расчета подведенной теплоты

$$q_1 = p_a V_a \varepsilon^{n_1 - 1} (\lambda_t - 1 + k_2 \lambda_t (\rho - 1) + \lambda_t \rho ((1/\delta^{n_2 - 1}) - 1) (n_2 - k_2) / (n_2 - 1)) / (k_1 - 1). \quad (17)$$

Рассчитаем абсолютное значение отведенной теплоты

$$q_2 = C_V(T_f - T_b) + C_p(T_a - T_f) + C_V \frac{n_1 - k_1}{n_1 - 1} (T_c - T_a). \quad (18)$$

После подстановки значений температур и сокращений получим выражение для расчета количества отведенной теплоты

$$q_2 = p_a V_a (A_t \lambda_t (\varepsilon^{n_1} / \delta^{n_2}) - (1/\mu) + k_1 ((A_t / \mu) - 1) + (1 - \varepsilon^{n_1 - 1}) (n_1 - k_1) / (n_1 - 1)) / (k_1 - 1). \quad (19)$$

Термический КПД двигателя определяем как

$$\eta_t = 1 - q_2 / q_1. \quad (20)$$

Подставив значения подводимой (17) и отводимой (19) теплоты, после сокращения получим выражение для определения термического КПД

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_1 - 1}} \cdot \frac{A_t \left[\lambda_t \left(\frac{\varepsilon^{n_1}}{\delta^{n_2}} \right) - \frac{1}{\mu} \right] + k_1 \left(\frac{A_t}{\mu} - 1 \right) + (1 - \varepsilon^{n_1 - 1}) \frac{(n_1 - k_1)}{(n_1 - 1)}}{\lambda_t - 1 + k_2 \lambda_t (\rho - 1) + \lambda_t \rho \left(\frac{1}{\delta^{n_2 - 1}} - 1 \right) \frac{(n_2 - k_2)}{(n_2 - 1)}}. \quad (21)$$

Термический КПД для цикла, организованного способом 2, определяется также по зависимости (20). При этом вводимая в цикл теплота составляет

$$q_1 = C_V((T_{z1} - T_c) + k_2(T_z - T_{z1}) + \frac{n_2 - k_2}{n_2 - 1}(T_b - T_z) + (T_{f1} - T_{a1})). \quad (22)$$

Температуру и давление для характерных точек цикла рассчитываем также по известным зависимостям состояния газа с учетом следующего

$$\begin{aligned} V_{a1} &= V_f / A_t; \quad T_{a1} = V_{a1} / (V_a T_a); \\ p_{f1} &= p_{a1} / (A_t)^{n_2}; \quad V_{f1} = V_f; \quad T_{f1} = T_{a1} / (A_t)^{n_2 - 1}; \\ V_a &= V_{f1} / A_{f1}; \quad T_a = T_{f1} / (A_{f1})^{n_1 - 1}. \end{aligned}$$

Отводимая теплота

$$q_2 = C_V((T_f - T_b) + k_3(T_a - T_f) + k_5(T_{a1} - T_a) + \frac{n_4 - k_4}{n_4 - 1}(T_a - T_{f1}) + \frac{n_1 - k_1}{n_1 - 1}(T_c - T_a)). \quad (23)$$

Зависимость для расчета термического КПД двигателя с реальным рабочим телом, работающего по циклу Отто по политропным процессам, будет иметь вид

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_1 - 1}} \cdot \frac{\left[\lambda_t \left(\frac{\varepsilon^{n_1}}{\delta^{n_2}} \right) - \frac{1}{\mu} \right] + k_1 \left(\frac{1}{\mu} - 1 \right) + (1 - \varepsilon^{n_1 - 1}) \frac{(n_1 - k_1)}{(n_1 - 1)}}{\lambda_t - 1 + \lambda_t \left(\frac{1}{\delta^{n_2 - 1}} - 1 \right) \frac{(n_2 - k_2)}{(n_2 - 1)}}. \quad (24)$$

Для определения термического КПД цикла Отто, для которого $A_t = 1$, $\mu = 1$, $\delta = \varepsilon$ и $n_1 = n_2 = k$, зависимость приобретает известный вид

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}}. \quad (25)$$

Таблица 1

Показатели адиабат рабочей смеси ($\alpha = 1$) при работе на различных топливах

Показатели адиабаты	Метан	Пропан	Водород	Оксид углерода	Бензин	Дизельное топливо
k_1 (сжатие)	1,381	1,391	1,407	1,403	1,398	1,41
k_2 (расширение)	1,375	1,376	1,367	1,367	1,377	1,378

Показатели адиабаты для цикла с реальным рабочим телом отличаются от величин, применяемых для «воздушного» цикла, на 3...7%. В расчетах показатели адиабат принимались с учетом того, что этот параметр для реального рабочего тела зависит от числа атомов в молекуле газа. Значения показателей адиабат рабочей смеси для различных топлив показаны табл. 1.

Принято считать, что термический КПД в цикле Отто не зависит от нагрузки. Однако, как следует из формулы (24), в цикле, в котором процессы сжатия и расширения представляют собой политропные процессы, термический КПД будет зависеть от степени повышения давления, а значит и от нагрузки (рис. 2).

Влияние показателя политропы сжатия и разницы в значениях показателей политроп сжатия и расширения на термический КПД очевидно. С увеличением этой разницы растет и температура в конце расширения, что приводит к увеличению количества теплоты, отдаваемой холодному источнику, и как следствие – к снижению термического КПД. Так, если рассмотреть два случая – первый с одинаковыми показателями политроп сжатия и расширения и второй, при котором разница в показателях политроп составляет 0,14 (реальные двигатели), – то термический КПД во втором случае уменьшится на 10...15 % в зависимости от степени повышения давления.

Для оценки работы цикла L_t и среднего давления p_t рассмотрим зависимости для их расчета. (Здесь и далее работа рассчитывается без учета потерь на газообмен.)

По определению

$$p_t = L_t / (V_f - V_c), \quad (26)$$

где

$$(V_f - V_c) = V_a (A_t - 1/\epsilon).$$

Тогда среднее давление цикла

$$p_t = L_t / V_a (A_t - 1/\epsilon). \quad (27)$$

Отметим, что в классической теории двигателей подведенная и отведенная теплота в обобщенном цикле рассчитывается по зависимостям

$$q_1 = C_v ((T_{z1} - T_c) + k (T_z - T_{z1})); \quad (28)$$

$$q_2 = C_v ((T_f - T_b) + k (T_a - T_f)). \quad (29)$$

Рассмотрим три варианта расчета работы и среднего давления цикла.

Первый вариант. Определение работы цикла через КПД:

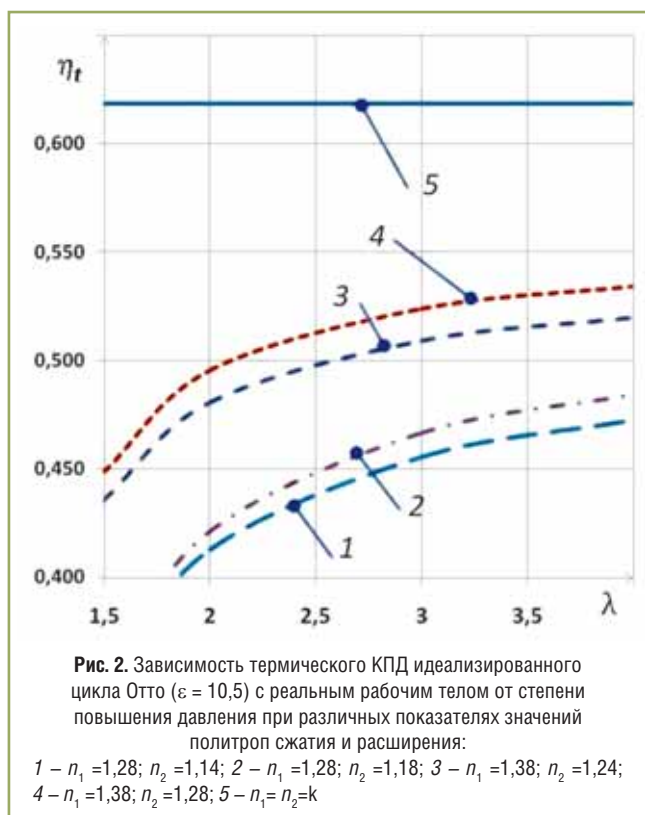
$$L_t = \eta_t q_1, \quad (30)$$

где q_1 рассчитываем по зависимости (17) для способа 1 и зависимости (22) для способа 2.

Тогда среднее давление цикла определится по зависимости (27).

Выражение в общем виде выведем для способа 1. После подстановки и сокращений получаем

$$p_t = \frac{p_a \epsilon^{n_1} \eta_t}{(k_1 - 1)(A_t \epsilon - 1)} \left[\lambda_t - 1 + k_2 \lambda_t (\rho - 1) + \lambda_t \rho \left(\frac{1}{\delta^{n_2 - 1}} - 1 \right) \frac{(n_2 - k_2)}{(n_2 - 1)} \right]. \quad (31)$$



В технической литературе по теории ДВС [1, 2] для расчета среднего давления цикла через термический КПД приводится такая формула:

$$p_i = \frac{P_a \varepsilon^k \eta_t}{(k-1)(\rho' \varepsilon - 1)} [\lambda - 1 + k\lambda(\rho - 1)], \quad (32)$$

где ρ' по существу тот же параметр, что и в данной работе, обозначенный как A_t .

Аналогично можно получить и формулу для расчета p_t для способа 2.

Второй вариант. Определение работы цикла и среднего давления через баланс подведенной и отведенной теплоты.

Работа цикла

$$L_t = q_1 - q_2, \quad (33)$$

где определяем q_1 – по зависимости (17) для способа 1 и зависимости (22) для способа 2; q_2 – по зависимости (19) для способа 1 и зависимости (23) для способа 2.

Тогда среднее давление цикла рассчитываем по зависимости (27).

Третий вариант. Определение среднего индикаторного давления цикла через работу, полученную суммированием работы на отдельных участках цикла.

Для цикла, организованного по способу 1,

$$L_t = L_{z1z} + L_{zb} + L_{fa} + L_{ac}. \quad (34)$$

Зависимости для определения работы на отдельных участках цикла приведены в табл. 2.

Тогда среднее давление цикла по зависимости (27), или

$$p_i = \frac{P_a}{\varepsilon_g - 1} \varepsilon^{n_1} \left[\lambda(\rho - 1) + \frac{\lambda\rho}{n_2 - 1} \left(1 - \frac{1}{\delta^{n_2 - 1}} \right) - \frac{1}{\varepsilon^{n_1 - 1}} (A_t - 1) - \frac{1}{n_1 - 1} \left(1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_1 - 1}} \right) \right]. \quad (35)$$

Для цикла, организованного способом 2, при расчете работы цикла необходимо учесть процессы, ограниченные кривыми $a_1 - a - f_1$ (рис. 2б, табл. 2):

$$L_t = L_{z1z} + L_{zb} + L_{fa} + L_{ac} + L_{a1a} + L_{a1f1} + L_{f1a}. \quad (36)$$

Результаты расчетов термического КПД, а также работы и среднего давления цикла по трем вариантам – через КПД цикла, разницу подводимой и отводимой теплоты и работу участков цикла – показаны в табл. 3. Для сравнения приведены результаты расчета параметров цикла по классическим зависимостям для воздушного цикла.

Как видно из табл. 3, при использовании предлагаемого метода для определения параметров цикла Отто получены одинаковые значения работы и среднего давления для всех трех вариантов

Таблица 2

Зависимости для расчета работы на участках цикла

Работа участка цикла	Формула
L_{z1z}	$\lambda p_a V_a \varepsilon^{n_1 - 1} (\rho - 1)$
L_{zb}	$p_a V_a \varepsilon^{n_1 - 1} \frac{\lambda\rho}{n_2 - 1} \left(1 - \frac{1}{\delta^{n_2 - 1}} \right)$
L_{fa}	$p_a V_a (A_t - 1)$
L_{ac}	$p_a V_a \varepsilon^{n_1 - 1} \frac{1}{n_1 - 1} \left(1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_1 - 1}} \right)$
L_{a1a}	$p_a (V_a - V_{a1})$
L_{a1f1}	$(p_{a1} V_{a1} - p_{f1} V_{f1}) / (n_3 - 1)$
L_{f1a}	$(p_{f1} V_{f1} - p_a V_a) / (n_4 - 1)$

расчета. Классический расчет дает завышенное значение термического КПД и соответственно заниженные значения работы и среднего давления цикла при расчетах через КПД и через баланс введенной и отведенной теплоты.

Расчет работы и среднего давления цикла через работу участков цикла, произведенный по классическому и предлагаемому методам, естественно, совпадает.

Сравнивая показатели цикла Миллера, реализуемого двумя способами, отметим, что термические КПД отличаются мало, а среднее давление цикла по первому способу на 3 % ниже, чем по второму.

Рассмотрим расчет максимальной температуры цикла и степени повышения давления.

В теории двигателей максимальную температуру T_z цикла принято определять через уравнение сгорания. Но ее можно определить по балансу теплоты, подводимой с топливом с учетом состава топливно-воздушной смеси и коэффициента наполнения, и теплоты, участвующей в работе цикла.

Будем исходить из того, что количество теплоты Q'_1 , вводимой в цикл с топливом массой m_T , соответствует количеству теплоты Q_1 , подводимой к рабочему телу топливно-воздушной смесью, включающей такую же массу топлива m_T .

$$Q'_1 = Q_1. \quad (37)$$

При этом

$$Q'_1 = H_u m_T; \quad (38)$$

$$Q_1 = q_1 m_{рт}, \quad (39)$$

где q_1 – подведенная в цикле теплота, рассчитанная по зависимостям (17) или (22).

Тогда уравнение (37) запишем

$$H_u m_T = q_1 m_{рт}. \quad (40)$$

Или

$$q_1 = H_u m_T / m_{рт}. \quad (41)$$

Рабочее тело в конце такта впуска $m_{рт}$ включает в себя заряд свежей смеси и смеси газов в соотношении, равном отношению рабочего объема цилиндра и объема камеры сгорания. Состав газов, находящихся в камере сгорания, рассчитывается исходя из предположения, что перед началом такта впуска камера сгорания может быть заполнена воздухом, остаточными газами или их смесью. Заполнение камеры сгорания воздухом одинаково возможно как при внутреннем, так и при внешнем смесеобразовании. В последнем случае можно подавать топливо на такте впуска уже после закрытия выпускного клапана, то есть после окончания продувки. Таким образом потерь топлива при продувке не будет. Однако для поддержания заданного состава топливно-воздушной смеси общее количество топлива должно быть увеличено пропорционально

Таблица 3

Результаты расчетов показателей циклов

(исходные данные: топливо – метан, стехиометрическая топливно-воздушная смесь; $n_1 = 1,36$; $n_2 = 1,28$; $k = 1,41$; $\lambda = 3,5$)

Параметр	Классический метод расчета	Предлагаемый метод расчета		
		Отто	Миллера	
Цикл	Отто		Отто	способ 2
Степень сжатия геометрическая	10,5	10,5	16,8	16,8
действительная	10,5	10,5	10,5	10,5
Подведенная теплота q_1 , кДж/кг (номер формулы)	2596,9 (28)	3032,6 (17)	1966,7 (22)	1894,7 (17)
Отведенная теплота q_2 , кДж/кг (номер формулы)	990,3 (29)	1350,5 (19)	786,5 (23)	750,6 (19)
Термический КПД (номер формулы)	0,6187 (25)	0,5547 (24)	0,6001 (20) с учетом (22) и (23)	0,6038 (21)
Расчет L_t и p_t через термический КПД (первый вариант)				
L_t , кДж/кг (номер формулы)	1606,6 (30)	1682,1 (30)	1180,2 (30)	1144,1 (30)
p_t , МПа (номер формулы)	1,093 (32)	1,144 (31)	0,803 (31)	0,779 (31)
Расчет L_t и p_t через баланс теплоты (второй вариант)				
L_t , кДж/кг (номер формулы)	1606,6 (33)	1682,1 (33)	1180,2 (33)	1144,1 (33)
p_t , МПа (номер формулы)	1,093 (27)	1,144 (27)	0,803 (27)	0,779 (27)
Расчет L_t и p_t через работу участков цикла (третий вариант)				
L_t , кДж/кг (номер формулы)	1682,1 (34)	1682,1 (34)	1180,2 (36)	1144,1 (34)
p_t , МПа (номер формулы)	1,144 (27)	1,144 (27)	0,803 (27)	0,779 (27)

объему воздуха, заполняющего камеру сгорания при ее полной или частичной продувке. Тогда масса рабочего тела в конце такта впуска

$$m_{\text{рт}} = m_{Vh} + k_{\text{прод}} m_{Vc} + (1 - k_{\text{прод}}) m_{\text{кс}}. \quad (42)$$

Коэффициент продувки камеры сгорания $k_{\text{прод}}$ учитывает отношение массы свежей топливно-воздушной смеси к общей массе смеси в камере сгорания перед началом такта впуска (свежая смесь и отработавшие газы)

$$k_{\text{прод}} = m_{Vc} / (m_{\text{кс}} + m_{Vc}). \quad (43)$$

Для определения массы топлива в топливно-воздушной смеси используем следующие соотношения:

$$m_{Vh} = m_{\text{т}} (1 + \alpha l_0); \quad (44)$$

$$m_{\text{кс}} = V_c \gamma_{\text{кс}}. \quad (45)$$

Запишем

$$m_{\text{рт}} = m_{\text{т}} (1 + \alpha l_0) (1 + (k_{\text{прод}} / \varepsilon)) + (1 - k_{\text{прод}}) V_c \gamma_{\text{кс}}. \quad (46)$$

Тогда отношение $m_{\text{рт}} / m_{\text{т}}$ в уравнении (41) запишем

$$m_{\text{рт}} / m_{\text{т}} = (1 + \alpha l_0) (1 + (k_{\text{прод}} / \varepsilon)) + (1 - k_{\text{прод}}) V_c \gamma_{\text{кс}} / \varepsilon m_{\text{т}}. \quad (47)$$

Выразим массу топлива через объем и коэффициент наполнения

$$m_{\text{т}} = V_h \eta_V \eta_f \eta_b / \alpha l_0 = V_a (1 - 1/\varepsilon) \eta_V \eta_f \eta_b / \alpha l_0. \quad (48)$$

Коэффициент η_f представляет собой отношение объема воздуха без топлива к объему цилиндра. Фактически этот коэффициент характеризует изменение количества поступающего в цилиндр воздуха в зависимости от агрегатного состояния топлива в топливно-воздушной смеси в процессе впуска и его теплофизических свойств при внешнем смесеобразовании.

При внутреннем смесеобразовании

$$\eta_f = 1. \quad (49)$$

При внешнем смесеобразовании

$$\eta_f = \alpha L'_0 / (1 + \alpha L'_0). \quad (50)$$

При этом возможны три варианта его подачи:

- в паровой фазе;
- в жидком состоянии с его испарением в камере сгорания после закрытия впускного клапана;
- часть – в паровой фазе, часть – в жидком состоянии.

Напомним, что стехиометрическое отношение L_0 (моль/кг) связано со стехиометрическим соотношением l_0 (кг/кг) следующим соотношением (моль/кг):

$$L_0 = l_0 / \mu_b. \quad (51)$$

Для определения объемного стехиометрического соотношения (моль/моль или $\text{м}^3/\text{м}^3$) при подаче топлива в паровой фазе получим выражение

$$L'_0 = L_0 \mu_f. \quad (52)$$

Если топливо находится в рабочей смеси в жидком состоянии, объемное стехиометрическое соотношение может быть рассчитано исходя из следующего соображения. При стехиометрическом составе смеси на ее рабочий объем V_h приходится $V_{\text{т}}$ жидкого топлива. Тогда стехиометрическое соотношение

$$L_{0V} = V_h / V_{\text{т}} = l_0 \gamma_{\text{т}} / \gamma_b. \quad (53)$$

При этом:

$$m_{\text{т}} = m_b / l_0 = V_h \gamma_b / l_0 = V_{\text{т}} \gamma_{\text{т}}; \quad (54)$$

$$V_{\text{т}} = V_h \gamma_b / l_0 \gamma_{\text{т}}. \quad (55)$$

В табл. 4 приведены значения стехиометрических отношений для различного состояния топлив.

Сравним цикловую подачу бензина или дизельного топлива в жидкой фазе с цикловой подачей метана в паровой фазе и отметим, что объем газового топлива при нормальных условиях должен превышать в 890 раз объем бензина. А различия в объемах метана цикловой подачи в жидкой (гипотетически) и паровой фазах составит около 630.

При внутреннем смесеобразовании жидкое топливо испаряется в камере сгорания уже после закрытия впускного клапана, происходит увеличение давления рабочей смеси, которое можно определить из соотношения объема воздуха и объема испарившегося топлива. Изменение температуры рабочей смеси за счет теплоты испарения топлива определяют исходя из законов сохранения массы и энергии.

На основании вышеизложенного выбирается значение L'_0 для использования в формуле (50) и вычисления максимальной температуры цикла и степени повышения давления с учетом агрегатного состояния топлива и способа смесеобразования. Вернемся с учетом вышеизложенного к рассмотрению баланса подводимой в цикле теплоты и теплоты сгорания топлива.

После преобразований получим следующее выражение для баланса

$$\frac{H_u}{(1 + \alpha l_0) \left(1 + \frac{k_{\text{прод}}}{\varepsilon}\right) + (1 - k_{\text{прод}}) \frac{\gamma_{\text{КС}} \alpha l_0}{(\varepsilon - 1) \eta_V \eta_f \gamma_B}} = q_1 \cdot \quad (56)$$

Выразим q_1 (17) через максимальную температуру цикла T_{z1} . После подстановки значений температур и сокращения получим

$$q_1 = \left[T_{z1} - T_a \varepsilon^{n_1-1} + k_2 (\rho T_{z1} - T_{z1}) + \left(\frac{\rho T_{z1}}{\delta^{n_2-1}} - \rho T_{z1} \right) \frac{(n_2 - k_2)}{(n_2 - 1)} \right] \frac{p_a V_a}{T_a (k_1 - 1)}. \quad (57)$$

Тогда

$$T_{z1} = \frac{q_1 \frac{T_a (k_1 - 1)}{p_a V_a} + T_a \varepsilon^{n_1-1}}{1 + k_2 (\rho - 1) + \rho \left(\frac{1}{\delta^{n_2-1}} - 1 \right) \frac{(n_2 - k_2)}{(n_2 - 1)}}. \quad (58)$$

При определении T_{z1} по зависимости (58) значение q_1 следует принять равным левой части уравнения (56).

После расчета T_{z1} степень повышения температуры определяется следующим образом:

$$\lambda_T = T_{z1} / T_c,$$

а степень повышения давления

$$\lambda = \lambda_T \mu.$$

Максимальная температура цикла

$$T_z = \rho T_{z1}.$$

Это выражение может служить для оценки λ в двигателях с принудительным воспламенением. При расчетах для двигателей с воспламенением от сжатия требуется задаться значением степени предварительного расширения ρ . Но можно и наоборот, как это принято в теории двигателей, задавать λ , поскольку этот параметр регулируемый.

Таблица 4

Стехиометрические отношения для различных топлив

Стехиометрические отношения	Дизтопливо	Бензин	Метан	Пропан	Водород
l_0 , кг/кг	14,33	14,94	17,24	15,68	34,49
L_0 , моль/кг	0,495	0,516	0,595	0,541	1,19
L'_0 (паровая фаза), моль/моль или м ³ /м ³	62,07	58,93	9,52	23,81	2,38
L_{0V} (при подаче топлива в жидкой фазе), м ³ /м ³	9421	8491	6002*	6303	2153*
Цикловая подача топлива в жидкой фазе (для цилиндра рабочим объемом 1,5 л), см ³	0,156	0,173	0,245*	0,233	0,683*
Цикловая подача топлива в паровой фазе (для цилиндра рабочим объемом 1,5 л) при нормальных атмосферных условиях, см ³	23,7	24,9	154,3	61,7	617,2

* Гипотетический случай подачи метана или водорода в жидком виде из криогенной системы хранения этих топлив.

Теперь рассмотрим расчет индикаторного КПД, как отношение работы цикла к подведенной с топливом теплоте, добавив лишь выражения, учитывающие смешанный отвод теплоты, то есть рассмотрим случай, когда фактическая степень сжатия отличается от геометрической.

$$\eta_i = L_i/q_1; \quad (60)$$

$$L_i = p_i (V_f - V_c), \quad (61)$$

где $(V_f - V_c) = V_a (A_f - 1/\epsilon)$.

Количество теплоты, внесенной в цилиндр,

$$q_1 = H_u m_T. \quad (62)$$

После преобразования получим

$$q_1 = H_u V_a (1 - (1/\epsilon)) \eta_V \eta_f \gamma_B / \alpha l_0. \quad (63)$$

После сокращения получим выражение для расчета индикаторного КПД для цикла со смешанным отводом теплоты или цикла, в котором действительная степень сжатия отличается от геометрической, через среднее индикаторное давление цикла:

$$\eta_i = \frac{p_i \alpha l_0}{\gamma_B \eta_V \eta_f H_u} \cdot \frac{(\epsilon_g - 1)}{(\epsilon - 1)}. \quad (64)$$

В табл. 5 приведены результаты расчетов максимальных температур цикла и степени повышения давления по предлагаемому методу в сравнении с расчетами, сделанными по уравнению сгорания.

Предлагаемый метод расчета параметров цикла дает хорошую сходимость с расчетами, сделанными по классическому методу с использованием уравнения сгорания. Но он проще, универсальнее и позволяет провести оценку термодинамических циклов, не поддающихся расчетам традиционными методами.

В качестве примера для оценки возможности проведения предварительных расчетов параметров двигателей рассмотрим характеристики двигателя с рабочим объемом 1,5 л на цилиндр. Приведем расчетные нагрузочные характеристики дизельного и газового двигателей в сравнении с экспериментальными характеристиками безнаддувных дизельного двигателя и газового, разработанного на его базе (рис. 3).

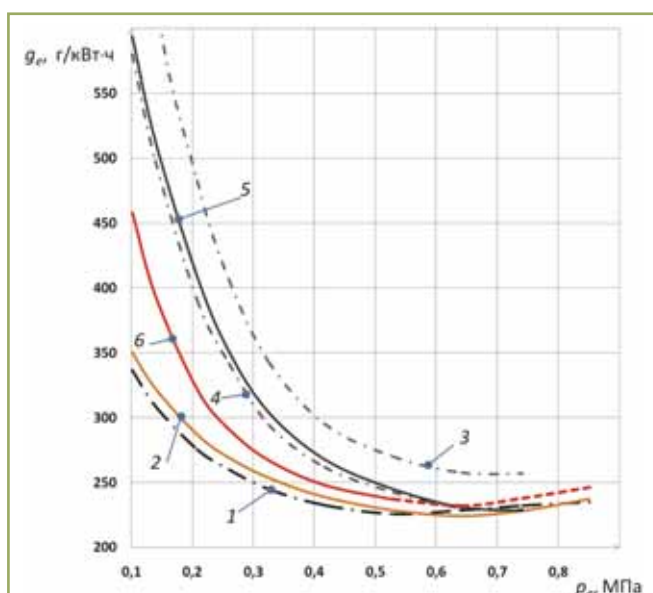


Рис. 3. Нагрузочные характеристики безнаддувных дизельного двигателя и газового на его базе:

1 – дизельный двигатель (эксперимент); 2 – дизельный двигатель (расчет); 3 – газовый двигатель ($\epsilon=8,0$; эксперимент); 4 – газовый двигатель ($\epsilon=11,4$; эксперимент); 5 – газовый двигатель ($\epsilon=11,4$; расчет); 6 – газовый двигатель с укороченным тактом впуска (цикл Миллера; $\epsilon_g = 16,8$; $\epsilon = 10,5$; расчет)

При конвертации безнаддувного дизельного двигателя в газовый с искровым зажиганием можно получить двигатель с очень близкими мощностными и экономическими показателями на полных нагрузках.

Некоторое снижение мощности в газовых двигателях определяется воздействием нескольких факторов, действующих в разных направлениях. Основное – это снижение коэффициента наполнения по воздуху и снижение теплоты сгорания единицы объема рабочей смеси (на 10 %). С другой стороны, газовые двигатели работают, как правило, на стехиометрических смесях, тогда как в дизельных двигателях состав смеси на полных нагрузках находился в пределах 1,3...1,6. Это различие в составе смеси дает выигрыш в теплоте сгорания, который составляет на полных нагрузках 12...15 % в пользу метана. В целом в зависимости от степени совершенства исходного дизельного двигателя, способа смесеобразования и степени оптимизации подбора фаз газораспределения в безнаддувной газовой модификации двигателя можно получить как снижение, так и увеличение его мощности при работе на метане. Реализация цикла Миллера за счет сокращения такта впуска по способу 2

позволит повысить топливную экономичность на средних и малых нагрузках, но вызовет снижение мощности двигателя, которое может быть компенсировано введением наддува (пунктирная часть линии кривой б на рис. 3).

Несмотря на то, что степень сжатия двигателя, предназначенного для работы на метане, меньше, чем у дизельного двигателя, эффективный расход топлива у газового двигателя становится ниже. Отметим, что при равных степенях сжатия индикаторный КПД двигателя с принудительным зажиганием, работающего по циклу Отто на полных нагрузках, выше, чем в дизельном двигателе. Так, снижение степени сжатия с 17 до 12 приведет к снижению КПД на 5..7 %, а переход на цикл Отто – к его повышению на 6...8 %.

Изменение эффективных показателей двигателя при различных составах смеси показано на рис. 4.

Очевидно, что при переходе с цикла Тринклера, по которому работают современные дизельные двигатели, на цикл Отто с сохранением степени сжатия (с гипотетическим предположением, что детонационная стойкость топлива позволит это сделать) КПД двигателя возрастает. Но из-за ограничений, связанных с детонацией при конвертации дизельного двигателя в двигатель с принудительным зажиганием, требуется снизить степень сжатия. Соответственно снижается и КПД двигателя. Но при этом эффективные расходы метана и дизтоплива отличаются мало. Более

Таблица 5

Результаты расчетов показателей цикла

Параметры	Цикл Отто				Цикл Тринклера		Цикл Миллера	
	Метан		Бензин		Дизель		Метан	
Нагрузка	100 %	Частичная	100 %	Частичная	100 %	Частичная	100 %	Частичная
Степень сжатия геометрическая	11,5		10,5		16,8		16,8	
действительная	11,5		10,5		16,8		11,5	
Состав топливно-воздушной смеси	1,0		1,0		1,2	2,2	1,0	
Коэффициент наполнения	1,00	0,58	1,00	0,60	1,00	1,00	1,00	0,70
Среднее давление цикла, МПа	0,862	0,282	0,930	0,330	0,844	0,448	0,584	0,282
КПД индикаторный	0,428	0,374	0,417	0,314	0,463	0,347	0,433	0,410
термический	0,551	0,538	0,542	0,525	0,572	0,539	0,597	0,587
Предлагаемый метод расчета								
Степень предварительного расширения	1,00		1,00		1,30	1,20	1,00	
Степень повышения давления	3,08	2,37	3,25	2,62	1,78	1,36	3,09	2,66
Максимальная температура цикла, К	2491	1615	2629	1717	2221	1566	2502	1858
Расчет по уравнению сгорания								
Степень предварительного расширения	1,00	–	1,00	–	1,32	–	1,00	–
Степень повышения давления	3,18	–	3,26	–	1,80	–	3,11	–
Максимальная температура цикла, К	2467	–	2652	–	2250	–	2582	–

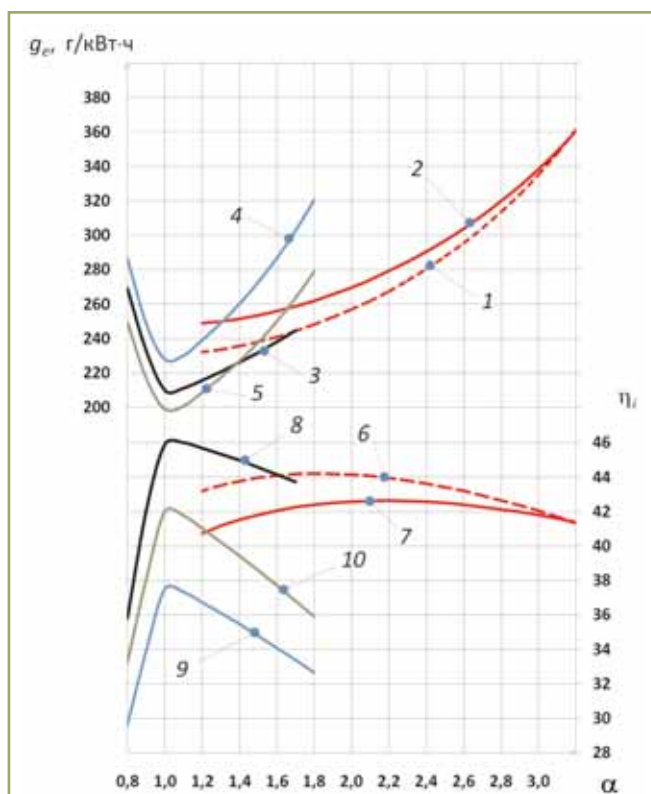


Рис. 4. Изменение удельного эффективного расхода топлива и индикаторного КПД

в зависимости от состава топливно-воздушной смеси.

Циклы: 1 и 6 – с воспламенением от сжатия ($\epsilon = 17$; $\lambda = 1,3$, дизтопливо); 2 и 7 – с воспламенением от сжатия ($\epsilon = 17$; $\lambda = 1,8$; дизтопливо); 3 и 8 – с принудительным зажиганием ($\epsilon = 17$; бензин); 4 и 9 – с принудительным зажиганием ($\epsilon = 10,5$; метан); 5 и 10 – с принудительным зажиганием и укороченным тактом впуска (цикл Миллера; $\epsilon_g = 17$; $\epsilon = 10,5$; метан)

того, при работе на метане можно получить лучшие показатели, выраженные в г/кВт·ч. Этот факт объясняется более высокой теплотой сгорания метана.

Обращаем внимание на характер соотношения индикаторного КПД и эффективного расхода топлива двигателя с принудительным зажиганием со степенью сжатия 17 при работе на бензине (кривые 8 и 3 соответственно, см. рис. 4) и двигателя с укороченным тактом впуска по способу 2 при работе на метане (кривые 10 и 5). Несмотря на то, что индикаторный КПД двигателя с укороченным тактом впуска при работе на метане (кривая 10) меньше, чем индикаторный КПД двигателя со степенью сжатия 17 при работе на бензине (кривая 8), эффективный расход топлива (выраженный в г/кВт·ч) при работе на метане (кривая 5) меньше, чем при работе на бензине (кривая 3). Удельные расходы в объемных единицах жидких нефтяных и газообразных топлив будут иметь другое соотношение. В табл. 6 приведены эти показатели. Для корректного сравнения было принято, что индикаторные КПД во всех случаях имеют одинаковые значения.

В заключение отметим следующее. Получены зависимости для определения термического КПД и среднего давления цикла для политропных процессов. В основу расчетов положен способ определения подведенной и отведенной в цикле теплоты с учетом теплоты, подводимой (или отводимой) на линиях расширения и сжатия. Рассчитанные по балансу подведенной и отведенной

теплоты среднее давление и работа цикла с абсолютной точностью совпадают с расчетами этих параметров, выполненных методом расчета работы цикла по участкам. Предложенный метод расчета позволил оценить различия в показателях термодинамических циклов, реализуемых разными способами, что методами классической теории двигателей сделать не удавалось.

Предложенный метод расчета термического, индикаторного КПД и максимальных температур цикла позволяет определить эффективные показатели двигателей по нагрузочным характеристикам с точностью, достаточной для прогнозирования характеристик проектируемых двигателей с новыми термодинамическими циклами на различных видах

Таблица 6

Удельные расходы топлива ($\eta_i = 0,4$)

Параметр	Дизтопливо	Бензин	Метан	Пропан	Водород
Теплота сгорания, МДж/кг	42,53	44,33	51,26	46,56	102,99
Плотность жидкости, г/см ³	0,85	0,735	0,45	0,52	0,081
паровой фазы, кг/м ³	5,602	5,103	0,714	1,964	0,089
Удельный индикаторный расход г/кВт·ч	211,6	203,0	175,6	193,3	87,4
объемный в жидкой фазе, л/кВт·ч	0,249	0,276	0,390	0,372	1,079
объемный в паровой фазе, м ³ /кВт·ч	0,038	0,04	0,246	0,098	0,982

топлива. Полученные в работе зависимости для определения параметров цикла универсальны и могут быть использованы для двигателей, работающих по циклам Дизеля, Тринклера, Отто, Миллера и Аткинсона.

Литература

1. Теплотехника / Луканин В.Н., Шатров М.Г., Камфер Г.М., Нечаев С.Г., Иванов И.Е., Матюхин Л.М., Морозов К.А. Под ред. Луканина В.Н. – 2-е изд., перераб. – М.: Высшая школа, 2000. – 671 с.
2. Двигатели внутреннего сгорания: Теория поршневых и комбинированных двигателей / Вырубов Д.Н., Иващенко Н.А., Ивин В.И., Круглов М.Г., Леонов О.Б., Меднов А.А., Мизернюк Г.Н., Орлин А.С., Роганов С.Г. Под ред. Орлина А.С., Круглова М.Г. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1983. – 372 с.

Использованные обозначения

Характерные точки цикла:

a_1 – закрытие впускного клапана;
 f_1 – конец такта впуска и начало такта сжатия;
 a – конец отвода тепла при постоянном давлении (точка пересечения линии сжатия с линией такта выпуска);
 c – конец такта сжатия;
 z_1 – конец подвода теплоты при постоянном объеме;
 z – конец подвода теплоты при постоянном давлении;
 b – конец расширения;
 f – конец отвода теплоты при постоянном объеме, начало выпуска.

Параметры цикла:

ε – фактическая (действительная) степень сжатия (V_a/V_c);
 ε_g – геометрическая степень сжатия (V_f/V_c);
 λ_t – степень повышения температуры (T_{z1}/T_c);
 λ – степень повышения давления ($p_{z1}/p_c = \lambda_t \mu$);
 ρ – степень предварительного расширения (V_z/V_c);
 δ – степень последующего расширения (V_b/V_z);
 A_t – задаваемое отношение полного объема цилиндра к объему цилиндра в момент закрытия впускного клапана, коэффициент Аткинсона ($V_b/V_{a1} = V_f/V_{a1}$);
 A_{t1} – фактическая степень предварительного сжатия при отдаче холодному источнику ($V_b/V_a = V_f/V_a$);
 V_g – рабочий (геометрический) объем цилиндра ($V_f - V_c$);
 V_h – фактический объем цилиндра ($V_{a1} - V_c$).

Параметры рабочего тела:

μ – коэффициент молекулярного изменения (M_2/M_1);
 M_1 – число молей свежей смеси;
 M_2 – число молей продуктов сгорания;
 n_1 – показатель политропы сжатия на линии $a-c$;
 n_2 – показатель политропы расширения;

n_3 – показатель политропы расширения на линии a_1-f_1 (способ 1);

n_4 – показатель политропы сжатия на линии f_1-a (способ 1);

k_i – показатель адиабаты воздушного цикла (показатель адиабаты реального рабочего тела в i -м процессе);

l_0 – теоретически необходимое количество воздуха для сгорания 1 кг топлива, кг/кг;

l'_0 – теоретически необходимое количество воздуха для сгорания 1 м³ топлива в паровой фазе, м³/м³;

α – коэффициент избытка воздуха;

m_T – масса топлива в топливно-воздушной смеси;

$m_{см}$ – масса топливно-воздушной смеси;

m_B – масса воздуха в топливно-воздушной смеси;

$m_{рт}$ – масса рабочего тела в конце такта впуска;

$m_{кc}$ – масса остаточных газов, эквивалентная объему камеры;

m_{vh} – масса свежего заряда, эквивалентная рабочему объему цилиндра;

m_{vc} – масса свежего заряда, эквивалентная объему камеры сгорания;

$k_{прод}$ – коэффициент продувки камеры сгорания перед началом такта впуска;

H_u – низшая теплота сгорания 1 кг топлива;

γ_B – плотность воздуха;

γ_T – плотность топлива;

$\gamma_{кc}$ – плотность остаточных газов в камере сгорания перед началом такта впуска;

η_v – коэффициент наполнения по воздуху;

η_f – коэффициент наполнения по топливно-воздушной смеси;

μ_B – кажущаяся молекулярная масса воздуха, кг/моль;

μ_f – кажущаяся молекулярная масса топлива, кг/моль.

Взаимосвязи параметров:

$\varepsilon_g = \delta \rho$; $\delta \rho = A_t \varepsilon$; $A_t = \delta \rho / \varepsilon = \varepsilon_g / \varepsilon$.

Использование поездов модульного типа на основе современных электровозов

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

В статье рассмотрены технические решения, которые позволят осуществить первый этап практического использования грузового железнодорожного поезда модульного типа. Обоснованы расчеты для двух реальных схем модульного грузового поезда.

Ключевые слова: подвижной состав, модульная схема.

Use of Trains of Modular Type on the Basis of Modern Electric Locomotives

I.K. Alexandrov

In article technical solutions which allow to carry out the first stage of practical use of a cargo railway train of modular type are presented. Calculations for two real schemes of a modular cargo train are proved.

Keywords: rolling stock, modular design.

Возможность применения поездов модульного типа [1] некоторыми оппонентами оценивается как перспектива отдаленного будущего, представляющая собой очень сложную в конструктивном и технологическом отношении проблему, другие же считают предлагаемую технологию в принципе неприемлемой. Однако ни один из них не опровергает адекватность представленных теоретических зависимостей. Действительно, теория основана на известных физических закономерностях. Следовательно, появляется настоятельная потребность в проведении экспериментальных исследований, которые позволят оценить энергетическую эффективность и доказать возможность повышения грузоподъемности подвижного состава.

Уже на существующей базе электровозов вполне реально приступить к практической реализации предлагаемой схемы комплектования тяжеловесного подвижного

состава и достоверно оценить ее энергетическую эффективность. На первом этапе освоения данной технологии даже не требуется постановка дорогостоящих экспериментальных исследований. Рассмотрим два примера формирования грузового поезда, вполне доступных для реализации в современных условиях.

Допустим, что дальнейшее развитие тяжеловесных поездов будет продолжаться по традиционной схеме, то есть путем установки впереди состава локомотива все большей и большей мощности. Это неизбежно приведет не только к увеличению вероятности растяжки поездов и превышению допустимой величины сцепления колесных пар локомотива [2], но и к обрыву сцепного устройства или деформации нижней рамы первых вагонов поезда, которые рассчитаны на вполне определенные растягивающие и ударные нагрузки.

Из сказанного следует вывод, что дальнейшее развитие тяжеловесных составов возможно только на основе модульной технологии, которая позволит сохранить или даже уменьшить тяговую нагрузку на сцепное устройство в пределах допустимых значений. Кроме того, при модульной схеме появляется возможность комплектовать состав любой желаемой грузоподъемности, не вступая при этом в противоречие с законами физики, определяющими коэффициент сцепления колесной пары, и не увеличивая осевую нагрузку, а также секционную мощность локомотива, которые понижают долговечность и надежность рельсовых путей. В доказательство возможности применения предлагаемой технологии отметим, что австралийские железнодорожники уже используют супертяжеловесный модульный поезд, состоящий из восьми локомотивов, равномерно распределенных по длине состава, который насчитывает 682 вагона [3]. Иными словами, применяют восьмимодульный состав.

Первый пример

Как известно, электровозы, используемые для грузовых перевозок, состоят из двух абсолютно симметричных секций. Следовательно, разделив их, мы имеем возможность создать два модуля. Рассмотрим, каковы же преимущества такой комплектации грузового поезда.

При анализе применяем зависимости из [1] и используем условную тяговую единицу Т.Е. измерений – безразмерную величину, определяющую значение тягового усилия, необходимого для транспортировки одного груженого вагона с заданной скоростью по горизонтальному участку пути с учетом потерь на перекачивание колесных пар, аэродинамических потерь, а также в подшипниках колесных пар и поддрессоренной вагонной тележке.

К сожалению, пока не было возможности для проведения натуральных исследований по определению

фрикционных потерь в сцепном устройстве поезда. Поэтому в расчетах принимаем минимальную величину, которую имеют известные пары трения.

Из курса «Детали машин» известно, что минимальными относительными потерями на трение обладает шарикоподшипник. Его фрикционные потери составляют 1 % передаваемой нагрузки, то есть КПД подшипника качения равен 0,99. Допустим, что сцепное устройство вагонов достаточно совершенно и обладает аналогичной энергетической эффективностью.

Определим энергетические характеристики энергоустановки локомотива, обеспечивающего тягу 60 грузовых вагонов по традиционной схеме.

Суммарное тяговое усилие T_{Σ} локомотива

$$T_{\Sigma} = \sum_{i=1}^N \frac{1}{\eta_{\text{сц}}^i} = \sum_{i=1}^{60} \frac{1}{0,99^i} = 82,76 \text{ Т.Е.}$$

КПД сцепного устройства поезда

$$\eta_{\text{п}} = \frac{N}{T_{\Sigma}} = \frac{N}{\sum_{i=1}^N \frac{1}{\eta_{\text{сц}}^i}} = \frac{60}{\sum_{i=1}^{60} \frac{1}{0,99^i}} = 0,725.$$

Определим энергетические характеристики модуля, обеспечивающего тягу 30 вагонов. Суммарное тяговое усилие T_{Σ} модуля

$$T_{\Sigma} = \sum_{i=1}^N \frac{1}{\eta_{\text{сц}}^i} = \sum_{i=1}^{30} \frac{1}{0,99^i} = 35,19 \text{ Т.Е.}$$

КПД сцепного устройства модуля

$$\eta_{\text{м}} = \frac{N}{T_{\Sigma}} = \frac{N}{\sum_{i=1}^N \frac{1}{\eta_{\text{сц}}^i}} = \frac{30}{\sum_{i=1}^{30} \frac{1}{0,99^i}} = 0,853.$$

Как отмечалось в работе [1], КПД сцепного устройства модуля однозначно определяет и КПД сцепного устройства всего поезда, составленного из этих модулей. Это очевидно также и из представленного выше расчета: для перемещения поезда одним локомотивом требуется тяговое усилие 82,76 Т.Е., в то время как общее тяговое усилие двух модулей определяется величиной $2T_{\Sigma} = 2 \cdot 35,19 = 70,38 \text{ Т.Е.}$

Таким образом, на основании расчета энергетический выигрыш от использования модульного поезда составит почти 13 %. Это вполне существенная величина, которую можно зафиксировать, измерив суммарную потребляемую электрическую мощность на энергоустановках поезда при первом и втором вариантах формирования подвижного состава.

После определения потребляемой электрической мощности методом обратного пересчета легко найдем до настоящего времени неизвестную нам величину $\eta_{\text{сц}}$. Вдобавок ко всему участники эксперимента с большой степенью вероятности получат возможность повысить энергоэффективность перевозок практически без каких-либо дополнительных стоимостных затрат.

Второй пример

В настоящее время в России уже имеется небольшой опыт комплектования тяжеловесного состава с использованием спарки двух локомотивов, другими словами, четырехсекционного электровоза. В таком случае появляется возможность составить поезд из четырех модулей.

Проведем сопоставительные энергетические расчеты. Сначала определим энергетические характеристики энергоустановки локомотива, обеспечивающего тягу супертяжеловесного поезда, составленного из 100 грузовых вагонов по традиционной схеме.

Суммарное тяговое усилие локомотива

$$T_{\Sigma} = \sum_{i=1}^N \frac{1}{\eta_{\text{сц}}^i} = \sum_{i=1}^{100} \frac{1}{0,99^i} = 173,2 \text{ Т.Е.}$$

КПД сцепного устройства поезда

$$\eta_{\text{п}} = \frac{N}{T_{\Sigma}} = \frac{N}{\sum_{i=1}^N \frac{1}{\eta_{\text{сц}}^i}} = \frac{100}{\sum_{i=1}^{100} \frac{1}{0,99^i}} = 0,577.$$

Суммарное тяговое усилие модуля

$$T_{\Sigma} = \sum_{i=1}^N \frac{1}{\eta_{\text{сц}}^i} = \sum_{i=1}^{25} \frac{1}{0,99^i} = 28,56 \text{ Т.Е.}$$

КПД сцепного устройства модуля

$$\eta_{\text{м}} = \frac{N}{T_{\Sigma}} = \frac{N}{\sum_{i=1}^N \frac{1}{\eta_{\text{сц}}^i}} = \frac{25}{\sum_{i=1}^{25} \frac{1}{0,99^i}} = 0,875.$$

Энергетический выигрыш в данном случае составит около 30 %.

Как видим, расчет четырехмодульного состава позволяет зафиксировать наличие фрикционных потерь в сцепке даже при их величине менее 1 %. Допустим, что КПД сцепки гипотетически равен 0,995. Тогда КПД сцепного устройства поезда из 100 вагонов, составленного по первой схеме, составит 76,8, а по второй – 93,6 %.

Отметим дополнительные преимущества второй схемы.

В модульной схеме существенно снижается нагрузка на одну ведущую (тяговая) ось энергетического блока при тяге состава на установившемся движении, следовательно, появляется резерв по сцеплению этой оси с рельсом при электродинамическом торможении во время торможения состава или движении его под уклон. Тем самым существенно повышается вероятность использования рекуперации энергии торможения в контактную сеть.

Хотелось бы обратить внимание разработчиков электрооборудования для энергообеспечения железных дорог [4] на то, что торможение поезда в разы более скоротечно, чем его разгон, а инерционные силы, как известно, определяются величиной ускорения. Поэтому простейшим расчетом можно показать, что силы инерции, возникающие при торможении супертяжелого поезда, многократно превышают силы сцепления головного локомотива, а значит применить электродинамическое торможение в этом случае технически нереально.

Кроме того, тормозить состав за счет головного локомотива невозможно и по условиям безопасности движения, так как при этом процессе, особенно при движении по кривой, поезд может потерять продольную устойчивость и попросту уйти под откос. Это явление очень хорошо известно автомобилистам при транспортировании прицепа, необорудованного системой торможения.

При использовании модульной схемы указанные недостатки практически исключаются. К тому же при разработке модуля есть возможность четко увязать допустимую суммарную массу вагонов со сцепными свойствами энергетического блока, то есть оптимизировать их соотношение таким образом, чтобы электродинамическое торможение было обеспечено в достаточно широком диапазоне. Естественно, что этот эффект автоматически распространится и на весь тяжеловесный состав, сформированный из этих оптимизированных модулей.

И еще одно небольшое примечание. С целью увеличения продольной устойчивости поезда при электродинамическом торможении рационально устанавливать энергетический блок последнего модуля в хвосте состава.

Итак, по мнению автора, развитие производительности грузовых железнодорожных перевозок за счет использования локомотивов увеличенной секционной мощности с повышенными осевыми нагрузками имеет весьма ограниченные перспективы и не обеспечит принципиальное решение проблемы.

Литература

1. **Александров И.К.** Грузовой железнодорожный поезд модульного типа // Транспорт на альтернативном топливе. – 2012. – № 7. – С. 19-24.
2. **Курбасов А.С.** Тяжеловесное движение грузовых поездов на российских железных дорогах: за и против // Наука и транспорт. – 2012. – № 3. – С. 15-17.
3. Книга рекордов Гиннеса [Электронный ресурс]. URL: <http://rekordy-ginnesa>.
4. **Мизинцев А.В., Ковтун А.В.** Использование энергии торможения поезда как способ экономии ресурсов на железной дороге постоянного тока // Наука и транспорт. – 2012. – № 3. – С. 34-35.

Расширение использования газа в качестве моторного топлива в Москве

В центральном офисе ОАО «Газпром» 30 октября 2012 г. состоялась рабочая встреча председателя правления Алексея Миллера и мэра Москвы Сергея Собянина.

Стороны обсудили ход реализации Соглашения о сотрудничестве. В частности, рассматривались вопросы развития и эксплуатации инфраструктуры для обеспечения газоснабжения потребителей города, в том числе территорий, вошедших в состав Москвы с 1 июля 2012 г. Было отмечено, что ввод современных энергоблоков позволит повысить надежность энергоснабжения

центральной части Москвы и эффективность выработки электроэнергии. В настоящее время ОАО «Мосэнерго», основной производитель электрической и тепловой энергии для столичного региона, ведет строительство трех парогазовых установок на ТЭЦ-12, ТЭЦ-16 и ТЭЦ-20.

Особое внимание на встрече было уделено совместной работе по расширению использования газа в качестве моторного топлива, в том числе по переводу автобусных парков столицы на природный газ. К настоящему времени определено

20 площадок для строительства в городе заправок транспорта компримированным природным газом и разработаны предложения по организации таких заправок в 11 автобусных парках Москвы. Для продолжения эффективной работы в этом направлении, синхронизации действий по развитию заправочной сети и расширению парка автотранспорта, работающего на газе, Газпром и правительство Москвы планируют заключить Соглашение о расширении использования природного газа в качестве моторного топлива. Алексей Миллер и Сергей Собянин подчеркнули, что результатом этой деятельности станет серьезное снижение затрат на пассажирские перевозки, а также улучшение экологической обстановки в Москве.

Газпром и Бавария: двустороннее сотрудничество в сфере энергетики

В конце ноября 2012 г. в Мюнхене состоялась рабочая встреча председателя правления ОАО «Газпром» Алексея Миллера и Премьер-министра Баварии Хорста Зеехофера.

Участники встречи обсудили вопросы двустороннего сотрудничества в сфере энергетики. Были рассмотрены возможности реализации проектов в области электрогенерации на территории Германии и в частности Баварии. Особое

внимание было уделено возможным мерам, направленным на повышение инвестиционной привлекательности газовой электрогенерации в Германии.

Стороны также обсудили перспективы использования природного газа в качестве газомоторного топлива на территории Баварии. Алексей Миллер предложил Хорсту Зеехоферу рассмотреть возможность осуществления в этой сфере пилотного проекта, направленного на полную газификацию

муниципальных автобусных парков одного из крупных городов этой земли.

В декабре 2011 г. ОАО «Газпром» и руководство федеральной земли Бавария подписали Дорожную карту о сотрудничестве в области производства электрической энергии и газоснабжения. В документе закреплены намерения сторон по совместной работе на территории земли.

В феврале 2012 г. в рамках мероприятий, определенных в Дорожной карте, состоялся круглый стол с участием Газпрома и представителей государственных структур Баварии, а также крупных производителей и потребителей электроэнергии и системных операторов.



Твердополимерный электролиз с деполяризацией анода для производства водорода

С.А. Григорьев,
начальник отдела НИЦ «Курчатовский институт», д.т.н.,
Д.Г. Бессарабов,
приглашенный исследователь НИЦ «Курчатовский институт» / директор Южно-Африканского центра водородной инфраструктуры (Северо-Западный университет, ЮАР), к.т.н.

В статье описаны особенности твердополимерного электролиза с деполяризацией анода и перспективы его применения для создания инфраструктуры обеспечения водородом транспорта.

Ключевые слова: электролиз, твердый полимерный электролит, деполяризация.

PEM Electrolysis with Anode Depolarization for Production of Hydrogen

S.A. Grigoriev, D.G. Bessarabov

Features of solid polymer electrolysis with anode depolarization and prospective of its application for creation of infrastructure network for hydrogen transport are considered.

Keywords: electrolysis, solid polymer electrolyte, depolarization.

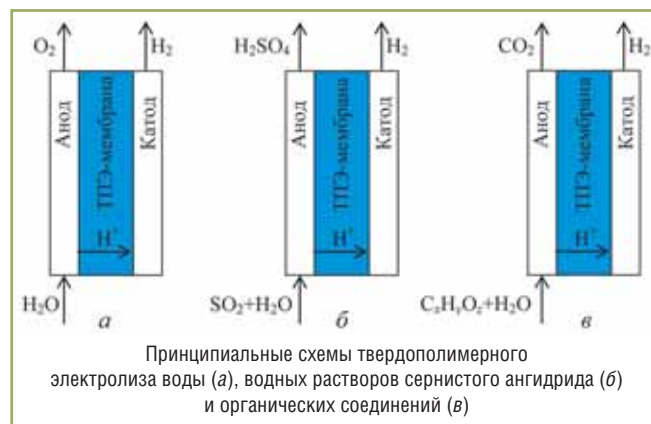
Как известно, широкомасштабное внедрение водородного транспорта сдерживается, в основном, отсутствием водородной инфраструктуры (сеть водородных заправочных станций, установок для производства водорода и т.д.). Одним из наиболее эффективных способов производства водорода является электролиз воды, в первую очередь, на основе твердого полимерного электролита (ТПЭ) [1]. Этот метод обеспечивает получение водорода высокой чистоты, требуемой для автомобилей на топливных элементах, в том числе при

давлении до нескольких сот атмосфер, что позволяет осуществлять непосредственную заправку автомобильных водородных баллонов и металлгидридных систем хранения водорода.

Немаловажной является возможность удачной компоновки электролизных систем с ТПЭ с системами на основе возобновляемых и атомных источников энергии. В последнем случае реализуется концепция так называемой атомно-водородной энергетики. Производство водорода может быть организовано в непосредственной близости от заправочной станции с использованием электроэнергии, получаемой от фотобатарей или ветрогенераторов. Помимо этого, целесообразно производство электролизного водорода в так называемые провальные часы, когда есть избыток электроэнергии на электростанциях, в первую очередь, атомных.

Однако электролиз воды с ТПЭ требует значительных энергозатрат (4 кВт·ч/м³ водорода и более), что определяет высокую стоимость электролизного водорода. В этой связи определенную перспективу имеет электролиз с деполяризацией анода.

В случае, когда целевым продуктом является только водород (кислород не требуется), целесообразно применять деполяризацию анода с частичной или полной заменой наиболее энергоемкой анодной реакции электровыделения кислорода на электрохимическую реакцию разложения других соединений (деполяризаторы). В качестве деполяризаторов могут использоваться метанол, этанол, глицерин, сернистый ангидрид, муравьиная кислота и другие восстановители (рисунок, таблица). При разложении этих соединений или их водных растворов анодный электрохимический процесс будет протекать при потенциале более низком, чем



Основные параметры* электролиза воды, различных деполяризаторов и их водных растворов [2-13]

Соединение, разлагаемое на аноде	Анодная реакция**	Анодный потенциал, В	Катодная реакция	Суммарная (общая) реакция	Потенциал элемента, В	Удельные энергозатраты, кВт·ч/м ³ H ₂
Вода	$H_2O \rightarrow 2H^+ + 1/2O_2 + 2e^-$	1,229	$2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2$	$H_2O \rightarrow 1/2O_2 + H_2$	1,229	4
Метанол + вода	$CH_3OH + H_2O \rightarrow CO_2 + 6H^+ + 6e^-$	0,016	$6H^+ + 6e^- \rightarrow 3H_2$	$CH_3OH + H_2O \rightarrow 3H_2 + CO_2$	0,016	1,48-2,03
Этанол + вода	$C_2H_5OH + 3H_2O \rightarrow 2CO_2 + 12e^- + 12H^+$	0,09	$12H^+ + 12e^- \rightarrow 6H_2$	$C_2H_5OH + 3H_2O \rightarrow 6H_2 + 2CO_2$	0,09	2
Муравьиная кислота	$HCOOH \rightarrow CO_2 + 2H^+ + 2e^-$	0,17	$2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2$	$CH_2O_2 \rightarrow CO_2 + H_2$	0,17	1,2-1,6
Сернистый ангидрид + вода	$SO_2 + 2H_2O - 2e^- \rightarrow H_2SO_4 + 2H^+$	0,158	$2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2$	$SO_2 + 2H_2O \rightarrow H_2SO_4 + H_2$	0,158	2,0-2,5
Глицерин + вода	$C_3H_8O_3 + 3H_2O \rightarrow 3CO_2 + 14H^+ + 14e^-$	0,22	$14H^+ + 14e^- \rightarrow 7H_2$	$C_3H_8O_3 + 3H_2O \rightarrow 3CO_2 + 7H_2$	0,22	1,1

* Нулевой катодный потенциал.

** Возможны дополнительные реакции.

потенциал реакции разложения воды, что определяет значительное снижение энергозатрат на получение водорода и, как следствие, его стоимости. Исследования показали, что деполяризация анода позволяет снизить энергозатраты на производство электролизного водорода в среднем в 2 раза [2-13].

Как известно, вольтамперная характеристика электролизной ячейки может быть описана уравнением вида

$$U = E + \eta_k + \eta_a + iR,$$

где U – напряжение электролиза, В; E – противо-ЭДС электролизной ячейки при данных температуре и давлении (разность термодинамических равновесных потенциалов анодной и катодной реакций), В; η_k – катодное перенапряжение (поляризация), В; η_a – анодное перенапряжение (поляризация), В; iR – омические потери, В.

При электролизе воды теоретическое значение противо-ЭДС ячейки составляет 1,229 В (при температуре 25 °С и атмосферном давлении) и определяется только потенциалом анодной реакции. Потенциал катодной реакции электровыделения водорода равен нулю. При добавлении к воде, подаваемой на анод, определенных восстановителей (деполяризаторы) анодная реакция будет протекать при потенциале более низком, чем потенциал реакции разложения воды.

Удельные энергозатраты на производство электролизного водорода определяются уравнением

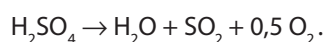
$$W = I U t / V,$$

где I – сила тока, А; U – напряжение электролизера, В; t – время, ч; V – объем произведенного газа, м³.

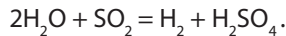
Следовательно, за счет снижения напряжения электролиза снижаются и энергозатраты на производство водорода.

Очевидно, что не все деполяризаторы целесообразно использовать при производстве электролизного водорода для обеспечения автомобильного транспорта. Так, метанол и этанол могут успешно применяться непосредственно в качестве топлива для автомобилей как на основе топливных элементов, так и на основе ДВС. Среди различных деполяризаторов наибольший интерес для практического использования может представлять сернистый ангидрид SO₂. При его деполяризации немаловажным является включение электролизного процесса в сернокислотный цикл, использующий теплоту высокотемпературных газоохлаждаемых реакторов [4, 5] или солнечных концентраторов [6] – так называемый цикл Марк-11, или цикл фирмы Вестингауз (Westinghouse Electric Company).

Первая высокотемпературная ступень этого комбинированного цикла осуществляется по реакции



Вторая низкотемпературная ступень реализуется твердополимерным электролизом с деполяризацией анода сернистым ангидридом



Как видно из приведенных реакций, это замкнутый цикл, где в качестве реагента для получения водорода расходуется только вода.

Таким образом, применение электролиза с деполяризацией анода позволяет значительно (в среднем до 50 %) снизить энергозатраты и стоимость производимого водорода (до 3-4 долл./кг [6]). Широкомасштабное внедрение электролиза с деполяризацией анода, в том числе для обеспечения объектов водородной

инфраструктуры, может дать дополнительный импульс к коммерциализации экологически чистого водородного транспорта.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 гг., мероприятие 1.5 «Проведение научных исследований коллективами под руководством приглашенных исследователей» (соглашение № 8890) по теме «Разработка научно-технических основ твердополимерного электролиза воды с деполяризацией анода».

Литература

- Григорьев С.А., Порембский В.И., Фатеев В.Н., Самсонов Р.О., Козлов С.И.** Получение водорода электролизом воды – современное состояние, проблемы и перспективы // Транспорт на альтернативном топливе. – 2008. – № 3. – С. 62-69.
- Костин В.И., Фатеев В.Н., Бокач Д.А., Коробцев С.В., Козолий А.В., Сальников С.Е.** Получение водорода и серной кислоты при электролизе с деполяризацией анода сернистым ангидридом // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2008. – № 3. – С. 8-11.
- Козолий А.В., Костин В.И.** Влияние давления на процесс электролиза воды с деполяризацией анода сернистым ангидридом // Электрохимическая энергетика. – 2010. – Т. 10, № 1. – С. 34-37.
- Шпильрайн Э.Э., Малышенко С.П., Кулешов Г.Г.** Введение в водородную энергетику. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 264 с.
- Sivasubramanian P.K., Ramasamy R.P., Freire F.J., Holland C.E., Weidner J.W.** Electrochemical hydrogen production from thermochemical cycles using a proton exchange membrane electrolyzer // International Journal of Hydrogen Energy. – 2007. – Vol. 32. – P. 463-468.
- Corgnale C., Summers W.A.** Solar hydrogen production by the Hybrid Sulfur process // International Journal of Hydrogen Energy. – 2011. – Vol. 36. – P. 11604-11619.
- Gorensek M.B., Staser J.A., Stanford T.G., Weidner J.W.** A thermodynamic analysis of the SO₂/H₂SO₄ system in SO₂-depolarized electrolysis // International Journal of Hydrogen Energy. – 2009. – Vol. 34. – P. 6089-6095.
- Lamy C., Devadas A., Simoes M., Coutanceau C.** Clean hydrogen generation through the electrocatalytic oxidation of formic acid in a Proton Exchange Membrane Electrolysis Cell (PEMEC) // Electrochimica Acta. – 2012. – Vol. 60. – P. 112-120.
- Cloutier C.R., Wilkinson D.P.** Electrolytic production of hydrogen from aqueous acidic methanol solutions // International Journal of Hydrogen Energy. – 2010. – Vol. 35. – P. 3967-3984.
- Sasikumar G., Muthumeenal A., Pethaiah S.S., Nachiappan N., Balaji R.** Aqueous methanol electrolysis using proton conducting membrane for hydrogen production // International Journal of Hydrogen Energy. – 2008. – Vol. 33. – P. 5905-5010.
- Caravaca A., Sapountzi F.M., de Lucas-Conseguera A., Molina-Mora C., Dorado F., Valverde J.L.** Electrochemical reforming of ethanol-water solutions for pure H₂ production in a PEM electrolysis cell // International Journal of Hydrogen Energy. – 2012. – Vol. 37. – P. 9504-9513.
- Pham A.T., Baba T., Sugiyama T., Shudo T.** Efficient hydrogen production from aqueous methanol in a PEM electrolyzer with porous metal flow field: Influence of PTFE treatment of the anode gas diffusion layer // International Journal of Hydrogen Energy. – 2012. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijhydene.2012.10.036>.
- Marshall A.T., Haverkamp R.G.** Production of hydrogen by the electrochemical reforming of glycerol-water solutions in a PEM electrolysis cell // International Journal of Hydrogen Energy. – 2008. – Vol. 33. – P. 4649-4654.

Российский рынок сжиженных углеводородов

П.В. Прохоров, член Совета НГА

В октябре 2012 г. в Москве прошла конференция «СУГ 2012», посвященная проблемам российского рынка сжиженных углеводородов. Ситуация на рынке СУГ напрямую влияет на газомоторный бизнес – автомобилисты, использующие пропан, ощущают сезонные колебания цен и периодический дефицит газа на заправках. Участники и докладчики проанализировали причины нестабильности рынка, оценили его перспективы и предложили пути развития.

Ключевые слова: производство, потребление и экспорт СУГ, структура рынка СУГ, АГЗС, автомобили на СУГ, цена на СУГ и бензин.

LPG Market in Russia

P.V. Prokhorov

Conference «LPG 2012» took place in Moscow 22nd of October. The event was dedicated to the situation on Russian LPG market that affects directly LPG automotive business. The car owner running on LPG is quite sensitive to the seasonal price fluctuations and periodical gas shortage on the filling stations. Conference participants and speakers tried to analyze the causes of unstable market situation, evaluate perspective and work out proposals and recommendations.

Graphs and statistics are based on the presentations of Cortes and Petromarket analytics agencies.

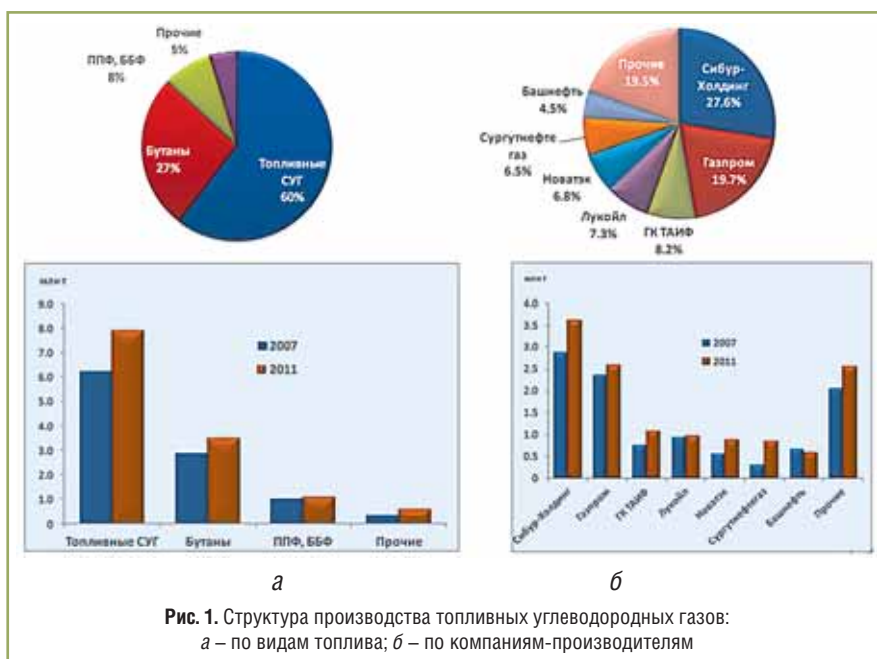
Keywords: LPG production / consumption / export, structure of LPG market, LPG refueling stations, LPG vehicle, price of LPG / petrol, LPG exchange.

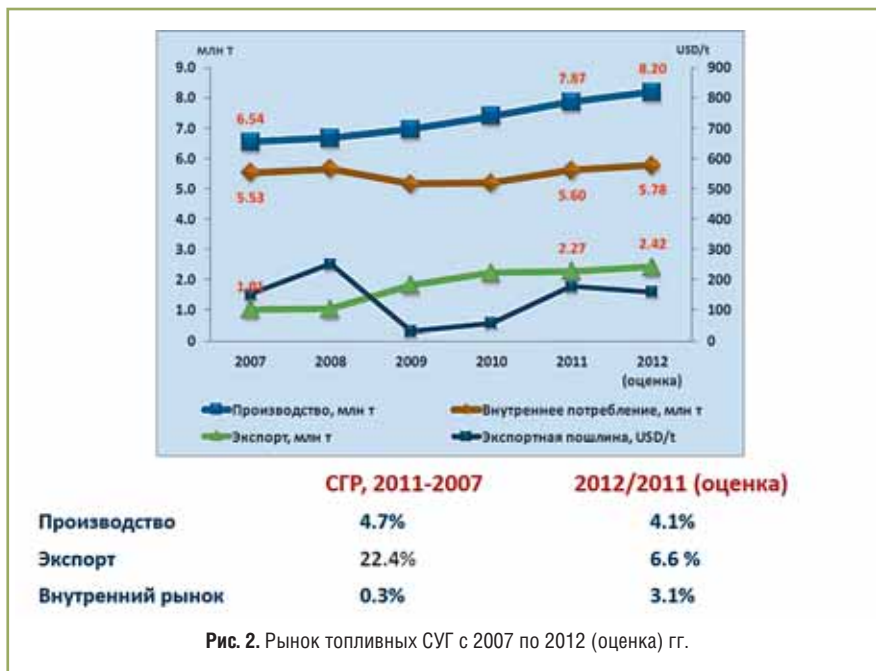
Аналитики компаний «Кортес» и «Петромаркет» представили в своих докладах статистическую и аналитическую информацию о производстве и потреблении СУГ. В структуре рынка (рис. 1) топливный СУГ занимает 60 % (производство 8 млн т/год), что предопределяет важность взаимодействия его производителей и потребителей. Однако олигополия производителей устанавливает свои, нерыночные, правила игры. Как видно из представленной диаграммы, пять крупнейших производителей фактически контролируют 2/3 рынка.

Среднегодовой рост производства СУГ в период 2007-2011 гг. составлял около 5 % (рис. 2). Однако практически весь прирост топливного газа уходил на экспорт. Так, за пять лет экспорт возрос более чем на 22 %. Внутреннее потребление фактически находилось в стагнации.

Выводы, сделанные в докладах, сводятся к утверждению, что рынок СУГ имеет экспортную направленность. Так, пошлина на бутан не взимается, а на техническую смесь пропана и бутана (СПБТ) и фракции (ППФ и ББФ) топливного СУГ регулируется государством для поддержки конкурентоспособности экспортеров. Экспортная ориентация рынка, по оценкам экспертов, обусловлена недостаточной развитостью потребительского сектора, корпоративными интересами производителей и отсутствием законодательного регулирования в области рынка газомоторного топлива.

Топливный СУГ используется не только как автомобильное топливо, но и для коммунально-бытовых нужд и в нефтехимии (рис. 3). Динамика изменения структуры





внутреннего рынка топливного СУГ отражает следующие тенденции: несмотря на стагнацию в 2012 г. потребление автогаза за 2007-2011 гг. выросло в среднем на 6,4 % в год, в то время как развитие газораспределительных сетей ведет к сокращению потребления СУГ в коммунально-бытовом секторе. Таким образом, вопреки полному отсутствию поддержки газомоторного рынка внутреннее потребление СУГ пока остается на стабильном уровне.

Тем не менее, эксперты отмечают, что рост сектора автогаза сходит на нет. Косвенным подтверждением этого мнения служит количественная оценка действующих АГЗС. Так, в 2011 г.

прирост составил менее 1 %. По числу АГЗС лидирует Приволжский федеральный округ, далее идут ЮФО (он же лидирует по плотности АГЗС) и ЦФО. Меньше всего газовых заправок зарегистрировано в Северо-Западном федеральном округе (рис. 4).

Существенными факторами влияния на формирование цен на внутреннем рынке СУГ являются:

- сезонность;
- ситуация на рынке автобензина;
- спрос на российский СУГ в Польше;
- баланс спроса и предложения СУГ на рынке России.

Динамика цен наглядно демонстрирует высокую амплитуду

колебаний стоимости СУГ на рынке (рис. 5). И хотя в среднем соотношение между ценами бензина Аи-92 и СУГ сохраняется на уровне 0,52-0,58, именно фактор глубоких ценовых колебаний отпугивает потребителей от использования сжиженного углеводородного газа в качестве моторного топлива.

Эксперты, в том числе из ООО «НИИгазэкономика» (Маслова О.И.), полагают, что цена на СУГ формируется не столько под влиянием внутреннего спроса и предложения, сколько под давлением экспортной конъюнктуры. В России отсутствует биржевая торговля, рынок СУГ находится под контролем крупных производителей, которые пока не принимают активного и методичного участия в формировании внутреннего рынка, в частности газомоторного, как основного потребителя сжиженных углеводородов.

Комментируя ситуацию на рынке, представитель компании «Лукойл» (Гурбанов А.К.) подтвердил наличие роста экспорта и стагнацию внутреннего потребления. При этом он отметил необходимость регулирования рынка со стороны государства по аналогии с методикой, выработанной для рынка нефтепродуктов (бензины).

Представитель Минэкономки России (Жаринов А.А.), докладывая о тарифной политике государства в сфере экспорта СУГ, спрогнозировал рост спроса на него для нефтехимического сектора до уровня 4...5 млн т/год к 2016 г. Несмотря на то, что докладчик заявил о приоритетности нужд населения РФ, о мерах поддержки газомоторного рынка в докладе не упоминалось.

Представитель компании «Импекснефтехим» (Кручинин Л.А.) проанализировал региональные различия в спросе на СУГ, а также





Рис. 4. Динамика роста числа АГЗС в России

сравнил экспортные и внутренние альтернативы по его сбыту. Вывод – цены для внутренних потребителей находятся в границах цен экспортного коридора, но ввод в эксплуатацию новых экспортных мощностей, в частности портового перевалочного узла в Усть-Луге, сделает экспорт еще более привлекательным, и внутренний рынок останется без сжиженного углеводородного газа уже через один-два года.

Представитель компании «Сибур» (Галактионов И.С.) парировал этот вывод, заверив, что объемы СУГ для внутреннего рынка не снизятся, и компания продолжит участие в проектах по развитию внутреннего спроса (например, проект в Нижегородской обл.).

Санкт-Петербургская международная товарно-сырьевая биржа (Соколов В.О.) подтвердила тезис об отсутствии в России свободного рынка СУГ и законодательных механизмов, обязывающих производителей выводить торговлю на биржу. Добровольно же торговать через биржи производителям СУГ неинтересно. По итогам 2011 г. через биржи было реализовано всего 0,5 % общего объема СУГ.

Директор Павловской базы сжиженного газа (Немцов М.И.) посоветовал на тяжелое положение газозаправочного бизнеса и отметил тенденцию к сокращению сбыта СУГ (рис. 6). Причина, по его мнению, заключается в нежелании вертикально интегрированных нефтяных компаний (ВИНК), вытесняющих частных владельцев АГЗС, инвестировать в организацию пунктов по переоборудованию автомобилей на газ. Число потребителей снижается,

конкуренция растет, рынок приходит в упадок. Также были обозначены практические сложности, с которыми сталкиваются при страховании автомобилей их владельцы, желающие установить ГБО с условием сохранения гарантии.

Объединение автопроизводителей России (Серезенкин А.М.) отметило, что автомобили, работающие на СУГ, предлагает только Горьковский автозавод («Газель Бизнес» с ГБО). Остальные производители ориентируются на выпуск автомобилей, работающих на природном газе (метан).

Было отмечено, что требования действующего технического регламента О безопасности колесных транспортных средств практически ограничивают переоборудование автомобилей на газ, и что основными поставщиками газобаллонных автомобилей должны стать автопроизводители. На данный момент, по мнению представителя НГА (Прохоров П.В.), в России доля газовых автомобилей заводского производства не превышает 1 % числа машин,

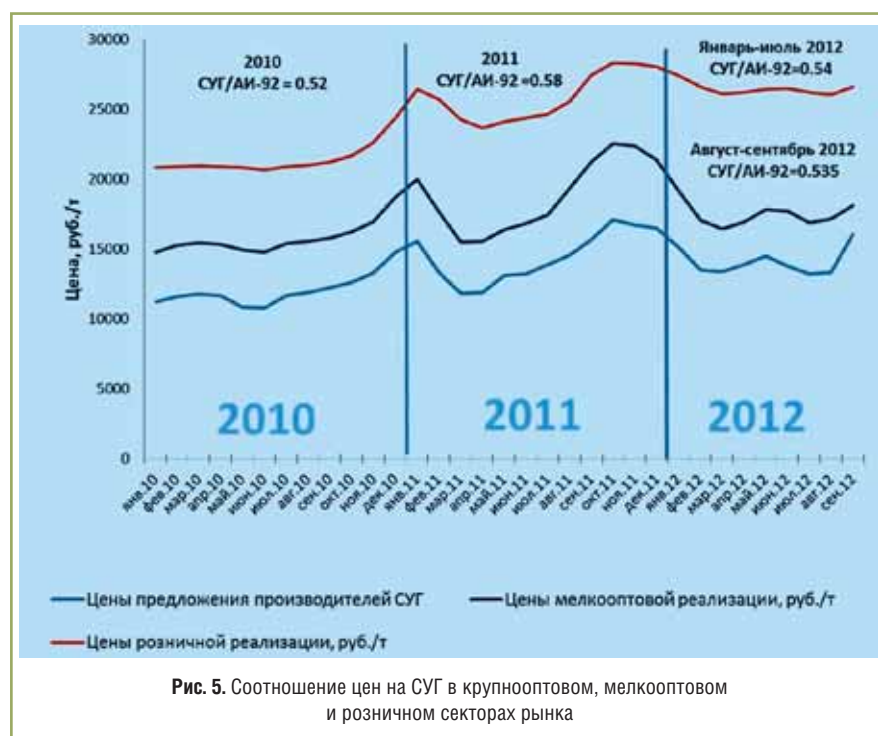
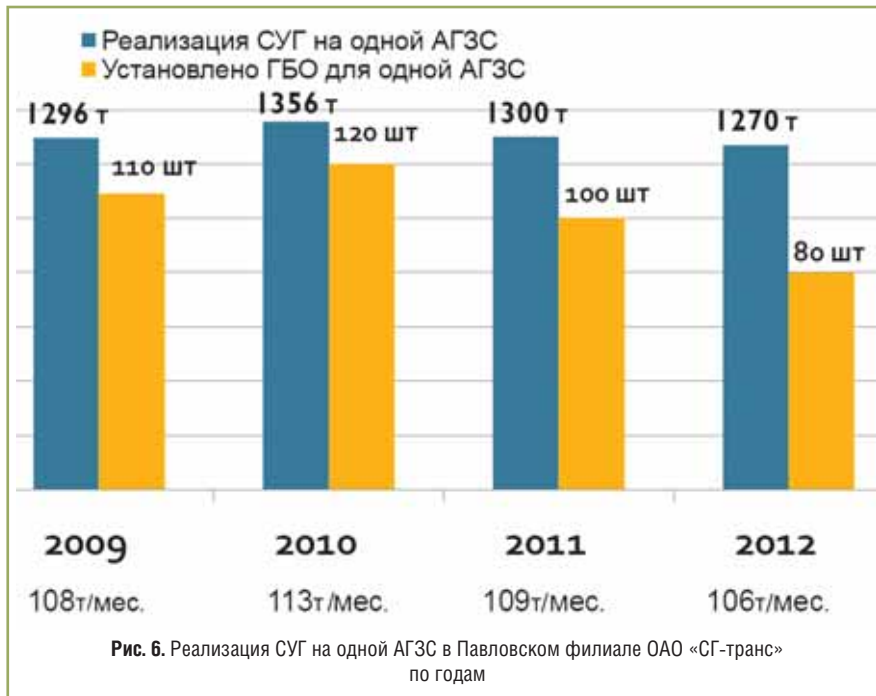


Рис. 5. Соотношение цен на СУГ в крупнооптовом, мелкооптовом и розничном секторах рынка



переоборудованных для использования СУГ. Это подчеркивает необходимость поддержки сегмента переоборудования, без которого невозможно появление новых заводских проектов.

Представитель компании «Новатек-Трейдинг» (Торгашев А.В.) указал на неспособность Федеральной антимонопольной службы навести порядок на рынке. Неоднократные разбирательства дел о картельных

сговорах и ущемлении прав потребителей не дали результата. Стабилизация и эффективное развитие рынка связано с выводом сделок по СУГ на биржу.

В заключение следует подчеркнуть, что российские производители и потребители СУГ существуют независимо друг от друга, и пока рано говорить о формировании рынка сжиженных углеводородов. Однозначно необходимо участие государства в создании рыночных инструментов, позволяющих стабилизировать цены и стимулировать внутреннее потребление газа. Более всего в этом заинтересованы разрозненные представители малого и среднего бизнеса, владеющие заправочными и сервисными станциями.

Задача НГА – объединить их усилия и привлечь внимание к проблемам рынка газомоторного топлива.



119071, Россия, г. Москва,
Ленинский проспект, д. 29,
офис № 628
www.balcity.ru

Телефон: +7 (495) 955 41 95
Факс: +7 (495) 783 84 92
E-mail: balcity@balcity.ru
sales@balcity.ru

РЕКЛАМА

ООО «БАЛСИТИ» – крупнейший производитель автомобильных баллонов для сжиженного углеводородного газа



Компания ООО «Балсити» остается крупнейшим в России производителем автомобильных баллонов для сжиженного углеводородного газа, занимая лидирующие позиции на российском рынке.

За 10-летний период производственной деятельности компания освоила и поставила потребителям значительное количество как стандартных баллонов цилиндрической формы вместимостью от 30 до 220 л, так и специальных спаренной и тороидальной форм вместимостью от 42 до 95 л различной конструкции более 60 наименований, из которых свыше 50 % занимают специальные. Постоянное обновление производственных мощностей, подготовка и переподготовка кадров, проведение комплекса испытаний и контроля являются залогом стабильности и качества производимой компанией товарной продукции.

ООО «Балсити» остается эксклюзивным поставщиком автомобильных баллонов для сжиженного углеводородного газа на конвейер Горьковского автозавода.

На предприятии компании внедрена и действует система менеджмента качества в соответствии с ГОСТ Р ИСО 9001-2008 (ISO 9001-2008). Баллоны сертифицированы по Международным правилам ЕЭК ООН № 67-01 с дополнениями 1-9, а также на соответствие требованиям Технического регламента «О безопасности колесных транспортных средств», что обеспечивает их применение в топливных системах различных типов автомобилей, использующих в качестве топлива сжиженный углеводородный газ (пропан, бутан и их смеси) под давлением 2,0 МПа.



Время обновления и инноваций

В 2012 г. прошла 10-я юбилейная выставка технологий распределения и использования газа GasSUF, которая традиционно собрала большое число участников и посетителей. Наш корреспондент встретился с директором выставки MVK – Международная выставочная компания в составе группы компаний ITE Раисой Газарян и задал ей несколько вопросов.



Корр.: В чем отличие этой выставки от предыдущих и будет ли продолжена в дальнейшем традиция проведения GasSUF?

Раиса Газарян: Прежде всего, хочется отметить, что юбилейный год для нас – время полного обновления и инноваций. Разумеется, за прошедшие годы выставка приобрела устойчивый имидж качественного успешного мероприятия с неповторимой и деловой атмосферой. Мы намерены сохранить это и впредь. Тем не менее, на выставке было много новинок. Во-первых, в 2012 г. на выставке была предусмотрена широкая демонстрационная зона на открытой выставочной площадке, где компании смогли представить новинки производства, на что очень хорошо отреагировали посетители. Во-вторых, идя навстречу пожеланиям посетителей, мы в этом году предельно упростили процедуру онлайн-регистрации, теперь она занимает не более 30 секунд.

Также хочется сказать о ежегодном расширении выставки – число ее участников в 2012 г. возросло на 35 %, число посетителей – на 10 %.

Есть изменения и в рамках деловой программы. Впервые состоялся круглый стол, который был посвящен 6-му международному автопробегу «Голубой



Исполнительный директор НГА Е.Н. Пронин открывает выставку



Заседание круглого стола по теме автопробег «Голубой коридор – 2012»; автомобиль, участвовавший в автопробеге в 2011 г.

коридор – 2012». В организации деловой программы нам помогает наш постоянный партнер – Национальная газомоторная ассоциация.

Корр.: Каковы основные итоги GasSUF–2012? И можно ли привести статистические данные по ее итогам?

Раиса Газарян: По итогам выставки, как уже говорилось выше, очевидно ощутимое увеличение числа участников и посетителей мероприятия. Об успехе проведения выставки говорят как отзывы участников, так и данные статистики: 46,4 % посетителей нашли новых партнеров/клиентов; 18 % – заключили новые контракты; 97,2 % – планируют посетить GasSUF в 2013 г. Всего же выставку посетило 1336 человек из 20 стран мира, 33,3 % экспонентов принимают участие в выставке более трех раз, 83,3 % участников нашли новых партнеров/клиентов, 16,7 % – заключили новые контракты.

Корр.: Как составляется деловая программа, кто принимает участие в ее разработке и каким основным проблемам были посвящены экспозиции участников выставки?

Раиса Газарян: GasSUF – это комплексное мероприятие, сочетающее сразу несколько направлений газовой отрасли, однако особое значение придается вопросу перевода транспорта на газ. Именно этой проблеме и была посвящена деловая программа выставки в 2012 г., и в том числе упоминавшийся выше круглый стол, организованный Национальной газомоторной ассоциацией. Хотелось подчеркнуть, что с НГА мы работаем с самого основания выставки и очень ценим наше взаимовыгодное сотрудничество. Особенно хотелось бы отметить помощь исполнительного директора НГА Евгения Пронина, который своей деятельностью способствует решению многих организационных вопросов.

Также не могу не отметить роль ОАО «Газпром», Министерства промышленности и торговли РФ, Московской торгово-промышленной палаты и Торгово-промышленной палаты РФ. И, конечно, большую работу по популяризации выставки проводит наш генеральный информационный партнер – журнал «Транспорт на альтернативном топливе».

Корр.: Основой успешного проведения такого масштабного мероприятия должна быть мощная организационная структура, которая может сконцентрировать усилия всех организаторов, спонсоров, участников, скоординировать их действия, провести огромную организационную подготовку, сформировать целевую направленность и подобрать профессиональную команду. Все это успешно осуществляет вот уже 10 лет компания MVK в составе группы компаний ITE. Расскажите подробнее, как возникла компания и каковы ее планы на будущее?

Раиса Газарян: Компания MVK входит в состав международной Группы компаний ITE. Группа является крупнейшим выставочным оператором и входит в



Осмотр выставки



Газобаллонные КАМАЗы на выставке

ТОП-15 операторов мирового выставочного бизнеса. Ее деятельность охватывает более 20 % выставочного рынка в России.

История MVK ведет свое начало с 1989 г., когда было организовано совместное российско-немецкое предприятие «Московская ярмарка» (Moskau Messe). В 2002 г. создается закрытое акционерное общество «Международная выставочная компания». В следующем году открывается офис в Екатеринбурге – MVK Урал. А уже в 2010 г. компания MVK входит в состав Группы ITE.

Выставочный портфель компании MVK базируется на трех главных направлениях. В отрасли полиграфии и упаковки MVK выступает организатором уникальных выставок с продолжительной историей RosUpack и «Полиграфинтер». Направление мебели и деревообработки представлено проектами «Woodex / Лестехпродукция», «ЕЕМ / Евроэкспомебель» и «Деревянное домостроение / Holzhaus». В промышленной сфере MVK выступает оператором следующих брендов: Mashex, PCVExpo, Cabex, «Weldex / Россварка», «Аналитика Экспо», «ВакуумТехЭкспо».

В числе других проектов MVK – международная выставка экологических технологий и инноваций Wasma, газовая выставка технологий распределения и использования газа GasSUF, а также международная выставка геодезии, картографии, геоинформатики Geoform+.

MVK сегодня это:

- 20 лет успешной работы по стандартам Всемирной ассоциации выставочной индустрии (UFI) и Российского союза выставок и ярмарок (РСВЯ);
- 20 ежегодных выставок передовых технологических новинок главных отраслей национальной и международной промышленности;
- 80 тыс. м² общего объема выставочных площадей, занимаемых ежегодно в Москве и Екатеринбурге.

Корр.: Есть ли компании, которые участвуют в GasSUF все 10 лет ее существования, как изменился состав участников, появились ли новые экспоненты и каковы их отзывы?

Раиса Газарян: Безусловно, у GasSUF за историю ее существования появился пул экспонентов, которые ежегодно принимают участие в выставке и демонстрируют новинки оборудования и технологий. Среди них такие ключевые компании отрасли, как ОАО «Газпром», «Русские автобусы – ГРУППА-ГАЗ», «КАМАЗ» и «ПариТек», Atlas Copco, «Промэнергомаш», Bauer Kompressoren, Criostar SAS, FAS Flussiggas Anlagen GmbH. Также GasSUF ежегодно встречает и новые компании, в этом году это Zavoli SRL, Ullit SA, Fienemann Torpedo GmbH, ООО «Газрембыт», ООО «СТОПК», Kosta Gas и другие.

Авторы статей в журнале № 6 (30) 2012 г.

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

Анисимов Илья Александрович, к.т.н., доцент кафедры «Эксплуатация автомобильного транспорта» Тюменского государственного нефтегазового университета, тел.: 8-912-926-33-03, e-mail: tkcc@list.ru

Багров Валерий Владимирович, к.т.н., зам. директора НИИ энергетического машиностроения МГТУ им. Н.Э. Баумана, тел. 8 903 146-20-77

Бессарабов Дмитрий Георгиевич, приглашенный исследователь НИЦ «Курчатовский институт» / директор Южно-Африканского центра водородной инфраструктуры (Северо-Западный университет, ЮАР), к.т.н., тел.: (499) 196 94 44

Григорьев Сергей Александрович, начальник отдела Федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», д.т.н., 123182, Москва, пл. Академика Курчатова, 1, тел.: 8 499 196 94 44, 8 905 736-56-20, e-mail: grig@hepti.kiae.ru или sergei_grigoriev@yahoo.com

Девянин Сергей Николаевич, доктор технических наук, заведующий кафедрой «Тракторы и автомобили» Московского государственного агроинженерного университета им. В.П. Горячкина (МГАУ им. В.П. Горячкина), м.т. 8 917 51-96-394

Духанин Владимир Иванович, аспирант МАМИ, кафедра «Электротехника и компьютеризированные электротехнические системы», ведущий конструктор Московского завода специализированных автомобилей, 107370, г. Москва, Открытое шоссе, д. 48А, тел. раб. 8 (499) 168-87-29, конструкторский отдел, м.т. 8 962 968-90-98

Евстифеев Андрей Александрович, начальник лаборатории ООО «Газпром ВНИИГАЗ», 115583, Москва, а/я 130, тел.: +7 (910) 460-78-86, email: A_Evstifeev@vniigaz.gazprom.ru

Ивлев Сергей Никитович, начальник отдела автомобилей с альтернативными энергоустановками

ОАО «АВТОВАЗ», ул. Заставная, 2, г. Тольятти, Самарская обл., 445043, р.т. 8 (8482) 53-42-69, 93-21-55

Кецарис Александр Августинovich, доцент МГМУ «МАМИ», кафедра «Электротехника и компьютеризированные электротехнические системы», 107023, г. Москва, ул. Б.Семёновская, д. 38, к.т.н., тел. раб. 8 (495) 223-05-23, доб. 1312

Килин Петр Григорьевич, ведущий конструктор ООО «НПП «ВТГ», р.т. (3412) 911-067

Кириллов Николай Геннадьевич, старший научный сотрудник Военного инженерно-технического института (ВИТИ), заслуженный изобретатель РФ, д.т.н., Россия, 191123, г. Санкт-Петербург, ул. Захарьевская, д. 22, тел. (812) 272-95-15, факс (812) 272-95-15, м.т. 8 911-950-83-26, факс (812) 272-95-15, e-mail: kirillov_ng@mail.ru

Крылов Владимир Иванович, к.т.н., директор НИИ энергетического машиностроения МГТУ им. Н.Э. Баумана, тел. 8 903 504-51-62

Кугаевский Александр Андреевич, директор ООО «Центр инвестиционных исследований, экономической экспертизы и разработки проектов», к.э.н., e-mail: ircentre@mail.ru

Лазарев Александр Николаевич, к.т.н., доцент, начальник Военного инженерно-технического института (ВИТИ), Россия, 191123, г. Санкт-Петербург, ул. Захарьевская, д. 22, академик Международной академии изобретательства, тел. (812) 272-95-15, факс (812) 272-95-15; e-mail: Lazarevalnik@yandex.ru

Лукшо Владислав Анатольевич, заведующий отделом ФГУП НАМИ, и.о. директора ЗАО «Автосистема», к.т.н., р.т. 454-45-51

Люгай Станислав Владимирович, заместитель начальника Центра «Использование газа» ООО «Газпром ВНИИГАЗ», р.т. (498) 657-4205, 8 916 107-98-09

Марков Владимир Анатольевич, д.т.н., профессор кафедры «Теплофизика» МГТУ им. Н.Э. Баумана, м.т. 8 917 584-49-54,

р.т. (499) 263-69-18,
e-mail: markov@power.bmstu.ru

Мирзоев Георгий Константинович, к.т.н., профессор, советник вице-президента ОАО «АВТОВАЗ», ул. Заставная, 2, г. Тольятти, Самарская обл., 445043, р.т. 8 (8482) 94-88-14

Молчанинов Виктор Иванович, начальник технического отдела 11-го автобусного парка ГУП «Мосгортранс», 8 915 376-76-41

Назаров Андрей Анатольевич, директор 2-го автобусного парка ГУП «Мосгортранс», р.т. (495) 784-19-01

Панов Юрий Владимирович, профессор МАДИ, к.т.н., м.т. 8 916-149-60-11, e-mail: panovyur@mail.ru

Почукаев Михаил Ильич, аспирант МАДИ, 8-910-650-59-18

Пронин Евгений Николаевич, руководитель исследовательской группы 5.3 Международного газового союза, исполнительный директор НГА, р.т.: 8 (499) 503 62 52, e-mail: e.pronin@mail.ru

Прохоров Павел Викторович, коммерческий директор ООО «Италгаз Групп», член Совета НГА, тел. / факс: 8 (495) 741-32-23, e-mail: commerce@italgas.ru

Семенов Сергей Петрович, к.т.н., генеральный директор ООО «Научно-производственное предприятие «Высокие технологии для Газпрома», 426008, г. Ижевск, ул. К.Маркса, д. 264а, тел.+7 3412 911-067, м.т. 8 912 767-81-14, e-mail: hi-tec11@mail.ru

Фомин Александр Павлович, к.т.н., доцент кафедры «Электротехника» МГМУ «МАМИ», тел. 8 917 567-89-71

Чикишев Евгений Михайлович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Эксплуатация автомобильного транспорта» Тюменского государственного нефтегазового университета, тел.: 8-912-923-63-10; e-mail: chikishev_e@mail.ru.

Шипков Руслан Юрьевич, исполнительный директор ООО «Сахаметан», тел. (4112) 39-14-79, sakhametan@mail.ru

Contributors to journal issue No. 6 (30) 2012

Alexandrov Igor K.,

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

Anisimov Ilya Al.,

PhD, associate professor, Tyumen State Oil and Gas University, tel.: 8-912-926-33-03, e-mail: tkcc@list.ru

Bagrov Valery V.,

Bauman Moscow State Technical University, candidate of technical science, phone: + 903 146-20-77

Bessarabov Dmitry G.,

visiting researcher of Federal State Institution Russian Research Center «Kurchatov Institute», North-West University (South Africa), candidate of technical science, phone: +7 (499) 196 94 44

Chikishev Evgeniy M.,

PhD, associate professor, Tyumen State Oil and Gas University, tel.: + 7 912-923-63-10; e-mail: chikishev_e@mail.ru

Devyanin Sergey N.,

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

Dukhanin Vladimir I.,

Post-graduate of the Moscow state technical university (MAMI), phone: + 7 (499) 168-87-29, + 7 962 968-90-98

Evstifeev Andrey A.,

JSC «Gazprom VNIIGAZ», p/o 130, Moscow, Russia, 115583, email: A_Evstifeev@vniigaz.gazprom.ru

Fomiv Alexander P.,

candidate of technical science, professor of the Moscow state technical university (MAMI), phone: + 7 917 567-89-71

Grigoriev Sergey A.,

PhD, Hydrogen Energy and Plasma

Technology Institute, Federal State Institution Russian Research Center «Kurchatov Institute», Associate Professor, phone: +7 (499) 196 94 44, e-mail: grig@hepti.kiae.ru sergei_grigoriev@yahoo.com

Ivlev Sergey N.,

Head of Department of Open Society AVTOVAZ, phone: + 7 (8482) 53-42-69

Ketsaris Alexander A.,

candidate of technical science, professor of the Moscow state technical university (MAMI), phone: + 7 (495) 223-05-23 (1312)

Kilin Petr G.,

leading designer of «Research and Production Enterprise «High technology for Gazprom», phone: + 7 (3412) 911-067

Kirillov Nikolay G.,

PhD, Engng, the Deserved inventor of the Russian Federation, academician of ABN, Military Technical Institute, phone: + 7 (812) 272-95-15, m. phone: 8-911-950-83-26, e-mail: kirillov-ng@mail.ru

Krylov Vladimir I.,

Bauman Moscow State Technical University, cand. sc., technical sciences, phone: + 903 504-51-62

Kugaevskiy Alexander A.,

director of the Center investment research, economic assessment and project development, e-mail: ircentre@mail.ru

Lazarev Alexander N.,

Ph. D. (Eng.), the senior lecturer, academician of MAI, Military Technical Institute, phone: tel./fax: + 7 (812) 272-95-15; e-mail: Lazarevalnik@yandex.ru

Luksho Vladislav A.,

Head of the Division, NAMI, Acting Director, Avtosistema Ltd., cand. sc., technical sciences, phone: + 7 (495) 454-45-51

Lyugai Stanislav V.,

Deputy Director of the Centre «Gas Use», tel.: +7 (498) 657-42-05, e-mail: S_Lugay@vniigaz.gazprom.ru

Markov Vladimir A.,

PhD, Engng, professor of «Heat Physics» department of the Bauman Moscow State Technical University, phone: + 7 917 584-49-54

Mirzoev Georgy K.,

cand. sc., professor, adviser of the Vice-president of Open Society AVTOVAZ, phone: + 7 (8482) 94-88-14

Molchaninov Viktor I.,

Head of Department 11-th bus fleet «Mosgortrans», mobile phone: + 7 915 376-76-41

Nazarov Andrey A.,

director of the 2nd bus fleet «Mosgortrans», office phone: + 7 (495) 784-19-01

Panov Yury V.,

cand. sc., professor MADI, mobile phone: + 916-149-60-11, e-mail: panovyur@mail.ru

Potchukaev Michail I.,

Postgraduate MADI, office phone: + 7 (499) 155-03-19, 910-650-59-18

Prokhorov Pavel V.,

commercial director of Italgas Group, phone: + 7 (495) 741-32-23, e-mail: commerce@italgas.ru

Pronin Evgeny N.,

Executive Director of the National Gas Vehicle Association, phone: + 7 499 503 62 52, e-mail: e.pronin@mail.ru

Semenishchev Sergey P.,

Ph.D., General Director of «Research and Production Enterprise «High technology for Gazprom», m.t. + 7 912 767-81-14, e-mail: hi-tec11@mail.ru

Shipkov Ruslan Yurievich,

SAKHAMETAN, Ltd., Executive Director, tel. (4112) 39-14-79, e-mail: sakhametan@mail.ru