



# ТРАНСПОРТ НА АЛЬТЕРНАТИВНОМ ТОПЛИВЕ

МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ  
ЖУРНАЛ № 5 (29) 2012

ЖУРНАЛ ВКЛЮЧЕН В ПЕРЕЧЕНЬ ВАК

НАЦИОНАЛЬНАЯ ГАЗОМОТОРНАЯ АССОЦИАЦИЯ



АФФИЛИРОВАНА  
С МЕЖДУНАРОДНЫМ ГАЗОВЫМ  
СОЮЗОМ



**FAS**  
Flüssiggas-Anlagen



Современные комплексные решения  
по транспортировке, хранению, учету  
и продаже сжиженных газов

проектирование и строительство АГЗС, ГНС, систем автономного  
газоснабжения, поставки оборудования, монтажные и пусконаладочные  
работы, гарантийное и послегарантийное обслуживание

насосы • компрессоры • газораздаточные колонки • запорно-предохранительная  
арматура • счетные установки • газогенераторное оборудование • комплексы  
автоматизации • станции автономного газоснабжения

Топливораздаточные колонки  
с кориолисовыми счетчиками (учет  
объема в л, массы в кг, плотности  
и температуры газа)

Электронные посты заправки  
бытовых газовых баллонов  
в шкафом исполнении  
с возможностью автоматизации

(495) 647 0577 • (812) 332 0527 • WWW.FAS.SU

**ХГК**  
ХИМГАЗКОМПЛЕКТ  
РЕКЛАМА

**Новая АГНКС в Республике Алтай**

**Дизель на биоуглеводородном топливе**

**Нижегородская область переводит муниципальный  
транспорт на газ**



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. Игнатъева**  
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 10.09.2012 г.  
Подписано в печать 25.09.2012 г.  
Формат 60x90 1/8. Тираж 3000 экз. Бумага мелованная.  
Печать офсетная, печ. л. 10,5

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

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

**На обложке:**  
**реклама ООО «Химгазкомплект»**

## В НОМЕРЕ:

|   |    |
|---|----|
| <b>О.Ю. Бриллиантов</b><br>С юбилеем, друзья! .....   | 3  |
| Новости из регионов .....   | 4  |
| <b>Э.З. Муллакаев, А.Х. Уразаев</b><br>Факторы, влияющие на физическое состояние водителей .....  | 8  |
| <b>И.К. Шарпова</b><br>Использование альтернативных источников энергии<br>на предприятиях автомобильного транспорта .....               | 11 |
| Нижегородская область: перевод муниципального транспорта на газ .....   | 16 |
| <b>В.П. Зайцев, Л.С. Яновский</b><br>Авиационное сконденсированное топливо и его преимущества .....                                     | 18 |
| <b>Д.Н. Григорович, А.В. Заручейский</b><br>Сравнение газодизельного и газового режимов работы тепловозных дизелей .....                | 22 |
| Иннопром-2012 .....   | 27 |
| Выставка GasSUF-2012 завершила свою работу! .....   | 28 |
| Основы эффективной перекачки газов .....  | 30 |
| <b>И.Ф. Маленкина, А.Р. Дельгадильо</b><br>Боливия: развитие рынка газового моторного топлива .....                                     | 32 |
| <b>И.К. Александров</b><br>Модернизированный тяговый расчет автотранспортных средств .....  | 38 |
| <b>В.В. Московкин, М.Н. Гуров, А.С. Шкель</b><br>Абсолютная шкала тепловых потерь двигателя .....                                       | 41 |
| <b>В.А. Овчинников</b><br>Методы математического моделирования<br>при проектировании автомобиля на стадии НИР .....                     | 43 |
| <b>И.К. Александров</b><br>Оценка фрикционных потерь в трансмиссии<br>грузовых автомобилей (окончание) .....                            | 48 |
| <b>В.М. Фомин, Рами Атраш</b><br>Улучшение показателей работы дизеля на бинарном биоуглеводородном топливе .....                        | 53 |
| <b>Н.К. Жеваго, С.В. Коробцев, А.Ф. Чабак</b><br>Мобильное хранение топливных газов в стеклянных капиллярах .....                       | 57 |
| <b>В.Н. Коноплев</b><br>Безопасность водородной энергетики применительно<br>к автотранспортному процессу на газомоторных топливах ..... | 61 |
| <b>Н.М. Филькин, В.А. Умняшкин, Р.С. Музафаров, В.К. Мазец</b><br>Легковой автомобиль с комбинированной энергосиловой установкой .....  | 67 |
| <b>М.И. Маркиев, А.Ю. Гайдук</b><br>Электромобиль «Рапан» .....   | 72 |
| Вклад в экологическое будущее .....   | 74 |
| Энергоэффективный автомобильный транспорт будущего .....  | 76 |
| Авторы статей в журнале № 5 (29) 2012 г. ....   | 78 |

**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 10.09.2012

Endorsed to be printed on 25.09.2012

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

|  |    |
|--|----|
| <b>E.Z. Mullakayev, A.H. Urazaev</b>   |    |
| Factors affecting the physical condition of drivers.....                                   | 8  |
| <b>I.K. Sharapova</b>  |    |
| The use of alternative energy sources<br>in enterprises of motor transport.....            | 11 |
| <b>V.P. Zaytsev, L.S. Yanovskiy</b>  |    |
| Aviation condensed (gas) fuel and its benefits .....                                       | 18 |
| <b>D.N. Grigorovich, A.V. Zarucheyksy</b>  |    |
| Comparison of gas-diesel and gas modes of diesel engines .....                             | 22 |
| <b>I.F. Malenkina, A.R. Delgadilyo</b>   |    |
| Development of the gas motor fuel market in Bolivia .....                                  | 32 |
| <b>I.K. Alexandrov</b>   |    |
| The modernized traction calculation of vehicles .....                                      | 38 |
| <b>V.V. Moskovkin, M.N. Gurov, A.S. Shkel</b>  |    |
| Absolute scale of thermal losses of the engine.....  | 41 |
| <b>V.A. Ovchinnikov</b>  |    |
| Mathematical simulation methods of vehicle design in research stage.....                   | 43 |
| <b>I.K. Alexandrov</b>   |    |
| Evaluation of frictional losses in the transmission of trucks.....                         | 48 |
| <b>V.M. Fomin, Rami Atrash</b>   |    |
| Improving of diesel engine work indicators<br>on base of binary bio hydrocarbon fuel ..... | 53 |
| <b>N.K. Zhevago, S.V. Korobtsev, A.F. Chabak</b>   |    |
| Mobile storage of fuel gases in glass capillaries .....                                    | 57 |
| <b>V.N. Konoplev</b>   |    |
| Basic safety aspects of hydrogen energy as applied for gas vehicles .....                  | 61 |
| <b>N.M. Filkin, V.A. Umnyashkin, R.S. Muzafarov, V.K. Mazets</b>                           |    |
| A prototype car with combined energy-power installation .....                              | 67 |
| <b>M.I. Markiyev, A.Yu. Gayduk</b>   |    |
| Electric vehicle «Rapan».....  | 72 |
| Contributors to journal issue No. 5 (29) 2012 .....  | 79 |



# С юбилеем, друзья!

**О.Ю. Бриллиантов,**

зам. главного редактора журнала «Транспорт на альтернативном топливе» (2007-2009 гг.)

Каждый раз, начиная новое дело, любой человек полон надежд на успешное его развитие. Вот и мы, когда готовили первый номер журнала «Транспорт на альтернативном топливе» в ноябре 2007 г., верили в успех. Дальнейшая жизнь издания показала, что с самого начала были правильно выбраны тематика журнала, его направленность на определенную аудиторию, структура самого издания.

**У**же с первых номеров вокруг журнала сложился постоянный круг авторов и читателей. Если бы не ваша поддержка, уважаемые коллеги, было бы намного сложнее дать путевку в жизнь новому изданию. А у нас уже с первого номера была обширная подписка на журнал и хороший портфель статей.

Конечно, не обошлось без ошибок, но какое новое дело обходится без этого! Зато сколько радости испытываешь, когда держишь в руках свое детище, еще пахнущее типографской краской, которое с этой минуты вступает в жизнь и будет служить людям.

И вот уже прошло пять лет с момента, когда я взял в работу первую статью для нашего журнала. Конечно, срок небольшой, однако следует учесть, что становление издания проходило в непростых условиях – мировой финансовый кризис, неуверенность в завтрашнем дне у многих. Несмотря на это журнал регулярно выходит, присутствует на всех значимых отраслевых выставках в Москве, Санкт-Петербурге, Киеве и других городах, участвует во всех автопробегах, распространяется на многих конференциях по своей тематике. В этих условиях жизнеспособность журнала подтвердила его нужность и своевременность.

Не скрою, испытываю гордость, когда получаю очередной номер журнала. В том, что изданию исполняется пять лет, есть и мой вклад. В него вложены весомый отрезок моей жизни и часть моей души. И пусть сегодня я не участвую в подготовке выпусков журнала, все равно пристально слежу за жизнью издания и постоянно нахожусь на связи с редакцией. И бывает приятно, когда коллеги по-прежнему обращаются ко мне за советом.

С первых дней работы мы понимали, что для того, чтобы издание пользовалось авторитетом, нам нужна серьезная авторитетная редакционная коллегия. Ее состав практически не менялся, за небольшим исключением, с первого дня. Все члены редколлегии оказывали самую активную помощь в рецензировании статей, оценке научной ценности публикаций. Особенно хотелось бы отметить профессора МАДИ, кандидата технических наук Ю.В. Панова, профессора МАМИ, доктора техни-

ческих наук В.И. Ерохова, профессора МГТУ им. Н.Э. Баумана, доктора технических наук В.А. Маркова и других. Их помощь в становлении журнала неоценима.

И конечно, нам необходимо было войти в Перечень ВАК ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых публикуются основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук. Утверждение в Перечне ВАК еще более укрепило авторитет журнала. Наше издание постоянно цитируют, поскольку редакция пристально следит за тем, чтобы в статьях рассказывалось о самых последних научных разработках и исследованиях.

Конечно, большую роль сыграло то, что журнал является печатным органом Национальной газомоторной ассоциации. Это давало возможность держать руку на пульсе развития газомоторной отрасли в России и за рубежом, привлекать зарубежных авторов и специалистов, быть в курсе всех важнейших событий.

Главная тематика журнала – перевод транспорта на альтернативное моторное топливо. К сожалению, в России пока внедрение такого топлива на транспорте идет медленно. Причин много – это и неразвитость заправочной инфраструктуры, и консервативность населения, привыкшего ездить на бензине и дизельном топливе, и отсутствие соответствующей нормативной правовой базы. Но мы смотрим в будущее и надеемся, что и в России наступит время, когда все, от кого зависит чистота воздуха наших городов, осознают свою ответственность и сделают шаг к тому, чтобы сберечь природу и оставить после себя чистый воздух и прозрачную воду в реках и морях. И журнал «Транспорт на альтернативном топливе» вносит свой вклад в это важное дело.

Хотелось бы пожелать моим коллегам, которые сегодня работают над выпусками журнала, членам редколлегии, всем авторам и подписчикам продолжать свой важный труд, который способствует улучшению экологии на нашей планете и претворению в жизнь поставленных задач по переводу транспорта на современные, эффективные и экологически чистые виды топлива. Успехов вам, друзья, на этом пути. Пусть «голубые коридоры» будут не только в наших планах, но и на наших дорогах в реальности.



## Газпром открыл первую АГНКС в Республике Алтай



Новая АГНКС

**15** августа в пригороде Горно-Алтайска состоялось открытие первой в Республике Алтай автомобильной газонаполнительной компрессорной станции (АГНКС). Мощность новой АГНКС составляет 250 заправок в сутки, проектная производительность – более 6 млн м<sup>3</sup> в год.

В церемонии открытия АГНКС приняли участие заместитель председателя Правления ОАО «Газпром» Виталий Маркелов,

первый заместитель председателя правительства Республики Алтай Юрий Антарадонов, руководители дочерних организаций Газпрома, республиканских транспортных компаний, представители общест-венности.

«Открытие первой АГНКС в Республике Алтай означает начало создания здесь регионального рынка газомоторного топлива. Это неотъемлемая часть системной работы Газпрома по выводу



российского рынка газомоторного топлива на качественно новый уровень. Для местных жите-

лей использование газа в моторах имеет особое значение. Алтай – уникальный природный памятник, который является национальным достоянием России. Использование газомоторного топлива позволит значительно снизить вредные выбросы и поможет сберечь природу этого удивительного уголка нашей страны», – отметил Виталий Маркелов.



«Сегодняшнее событие ставит Республику Алтай в один ряд с теми регионами, которые уже пользуются

очевидными преимуществами газомоторного топлива. Это и осязаемое улучшение экологической обстановки, что особенно важно для больших городов, это и снижение нагрузки на региональный и муниципальные бюджеты за счет разницы в ценах традиционного и газомоторного топлив.

В настоящее время мы подготовили 30 автомобилей, которые будут работать на природном газе. Это транспортные средства, занятые в пассажирских перевозках и обслуживании коммунальной сферы города. Мы сделаем все возможное для максимального использования мощностей новой станции, а также для того, чтобы число этих станций у нас было достаточным для организации автомобильных перевозок по всей территории республики», – подчеркнул Юрий Антарадонов.



Церемония открытия станции

## Справка

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. Численность мирового парка составляет около 15 млн.

Сегодня в 59 регионах РФ действуют 243 АГНКС, 208 из них находятся в собственности ОАО «Газпром» с учетом открытой в Республике Алтай.

В 2011 г. через российские АГНКС было реализовано 361,6 млн м<sup>3</sup> сжиженного природного газа (СПГ), что на 16,6 млн м<sup>3</sup> больше, чем в 2010 г. Однако это составляет лишь 18 % проектной производительности российских АГНКС.

Наиболее развитыми региональными рынками по итогам 2011 г. являются Ставропольский и Краснодарский края, Свердловская, Челябинская, Ростовская и Тульская обл., Республика Башкортостан – на них пришлось 52,1 % общего объема реализации СПГ 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 СПГ, 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 уже построены в Братске. Ведется проектирование метановой заправочной станции в Петропавловске-Камчатском. В перспективе намечено строительство АГНКС в Хабаровске, Благовещенске, Владивостоке, Южно-Сахалинске.



Управление информации ОАО «Газпром»

## КАМАЗы на главной стройке страны

Спецтехника производства ОАО «КАМАЗ» сегодня – одна из самых востребованных в Сочи в связи с возросшими темпами возведения спортивных объектов в рамках подготовки к Олимпиаде–2014 и строительством автомобильной и железной дорог «Адлер – Красная Поляна».

Сочи для строительства является сложным регионом: непростой горный рельеф приводит к тому, что создание транспортной инфраструктуры сопряжено с необходимостью сооружения множества горных тоннелей и мостов. В связи с этим строительные компании останавливают свой выбор на автомобилях КАМАЗ, которые в состоянии решать даже самые сложные задачи, связанные со строительством, монтажом и уборочными работами. Для их выполнения в тяжелых дорожных условиях чаще

всего используются полноприводные автомобили КАМАЗ-6522 (6х6) грузоподъемностью 19 т и КАМАЗ-65222 (6х6) с односкатной ошиновкой. Это показал опрос, проведенный дилерами ОАО «КАМАЗ» в Краснодарском крае среди строительных компаний, работающих в регионе.

Конструктивные особенности этих автомобилей в целом характерны для многих моделей нового поколения КАМАЗов. По сравнению с ранее выпускаемыми серийными моделями, автомобили «тяжелого» семейства отличаются высокими потребительскими свойствами: увеличенным ресурсом, повышенной грузоподъемностью, мощностью двигателя, а также уменьшенным удельным расходом топлива. Благодаря постоянному полному приводу, трехосному шасси, усиленной раме и ходовой

части автомобиль уверенно ведет себя в труднопроходимой местности. Постоянный полный привод в сочетании с односкатной ошиновкой не только обеспечивает высокую проходимость, но также позволяет преодолевать броды глубиной до 1,75 м.

Самосвал КАМАЗ-65222 с объемом кузова 12 м<sup>3</sup> и грузоподъемностью 19,5 т способен перевозить различные виды грузов даже в самых тяжелых условиях. Двигатель КАМАЗ 740.63-400, оснащенный электронной системой впрыска Common Rail, обеспечивает высокую мощность (294 кВт) и низкий расход топлива. На автомобиль устанавливается механическая 16-ступенчатая коробка передач ZF 16S1820, обеспечивающая снижение расхода топлива, имеющая оптимальный ряд передаточных отношений и высокий ресурс. Все эти характеристики фактически делают автомобиль незаменимым при строительстве объектов на территории Сочи.

## Автотранспорт Волгоградской области переходит на КПГ



Встреча в правительстве Волгоградской обл.

**В** Волгограде прошли встречи производителей газомоторных автомобилей с представителями власти и бизнеса Волгоградской обл. Главным событием стало совещание в правительстве области, посвященное разработке комплексной программы расширения использования компримированного природного газа (КПГ) в качестве моторного топлива на автотранспорте в Волгограде и Волгоградской обл.

В нем принимали участие заместители председателя правительства,

министры сельского хозяйства, экономики, промышленности и торговли, топлива, заместитель главы администрации Волгограда, генеральный директор автобусного завода «Волжанин», генеральный директор ООО «Газпром трансгаз Волгоград». Вел совещание вице-губернатор – председатель правительства Волгоградской обл. Константин Храмов.

Представитель компании «КАМАЗ» Руслан Зиатдинов и генеральный директор компании «РариТЭК» Рафаэль Батыршин презентовали комплексное

решение проблем повышения энергоэффективности и улучшения экологии в регионе на основе использования автотехники на природном газе.

По итогам переговоров министр транспорта области Андрей Путин получил задание организовать рабочую группу, в основу работы которой был взят проект ОАО «КАМАЗ».

В рамках государственной программы госсубсидирования закупок автобусов, работающих на метане, между компаниями «КАМАЗ», «РариТЭК» и «Волжанин» была достигнута договоренность о разработке газобаллонных автобусов большого класса на шасси КАМАЗ. На сегодня в Волгоградской обл. существует явная потребность в таких автобусах с высокими потребительскими качествами. В этой программе вопрос экологичности транспорта стоит на одном из первых мест.

В завершение совещания состоялась встреча с руководителем Волгоградской обл. Сергеем Баженовым, по итогам которой губернатор от имени местной власти выразил активную поддержку внедрению и использованию альтернативных видов топлив в области.

## Лизинговые КАМАЗы – в помощь Универсиаде-2013

**Г**руппа компаний «КАМАЗ-ЛИЗИНГ» заключила очередную сделку с компанией ООО «Трест механизации строительства и благоустройства» (ТМСИБ) на поставку 13 ед. автотехники марки КАМАЗ для строительных работ, в том числе и на объектах Универсиады-2013, которая пройдет в Казани.

Среди переданной в лизинг автотехники – 10 самосвалов

КАМАЗ-65115-03000018-13, два крана КС-55713 «Галичанин» на шасси КАМАЗ-65115 и один автобус НЕФАЗ-5299-11-33. Поставщиками в сделке выступили официальные партнеры ОАО «КАМАЗ» – дочернее предприятие в Башкирии ОАО «НЕФАЗ», компания ООО ТД «Кориб» и ООО «Кудесник». Договор финансовой аренды заключен на 36 мес. Это уже не первый опыт

плодотворного сотрудничества между ГК «КАМАЗ-ЛИЗИНГ» и ООО «ТМСИБ».

Шасси КАМАЗ-65115, на базе которого изготовлены самосвалы КАМАЗ-65115-03000018-13, оснащено двигателем КАМАЗ-740.13, мощностью 191 кВт, и коробкой передач 142.

Спецтехника КС-55713 «Галичанин» пользуется большим спросом у потребителей, главными ее достоинствами являются универсальность, неприхотливость и надежность. Она оснащена двигателем

КАМАЗ-740.62, мощностью 206 кВт экологического класса «Евро-3», и 9-ступенчатой коробкой передач производства «ЦФ КАМА».

Пригородный автобус НЕФАЗ 5299-11-33 базируется на шасси КАМАЗ-5297. Он оснащен двигателем КАМАЗ-740.62, мощностью 206 кВт

экологического класса «Евро-3», и коробкой передач ZF 6S 1200BO. Вместимость автобуса составляет 45 посадочных мест.

## Новая коммунальная техника

**К**омпания «РариТЭК» провела в г. Набережные Челны презентацию своей новой продукции – двух коммунальных машин на базе шасси КАМАЗ. В ней приняли участие более 40 представителей городских и коммунальных предприятий России.

В программу презентации двух коммунальных автомобилей вошли:

- торжественное открытие с участием представителей ООО «РариТЭК», ОАО «КАМАЗ», корпорации «АЭРОСАН», администрации г. Набережные Челны, министерства промышленности и торговли Республики Татарстан;
- видеопрезентация работы автомобилей на улицах Набережных Челнов и Нижнекамска;
- слайдовая презентация технических особенностей коммунальной техники;
- демонстрация возможностей новых автомобилей (тест-драйв);
- ознакомление с производством ООО «РариТЭК».

Первая из моделей – это дорожно-уборочная машина 3194А (пылесос) производства корпорации

фальтом и цементобетоном, с увлажнением подметаемой поверхности и поглощением пыли, а также для вывоза и самосвальной выгрузки в местах свалки.

Следующий автомобиль – это мусоровоз с задней разгрузкой 8580А



Мусоровоз 8580А на газомоторном шасси КАМАЗ-65115-30

«АЭРОСАН» на базе дизельного шасси КАМАЗ-53605. Этот автомобиль предназначен для механизированной уборки городских дорог, улиц, автострад, площадей, покрытых ас-

производства корпорации «АЭРОСАН» на газомоторном шасси КАМАЗ-65115-30. Он предназначен для автоматизированной и ручной выгрузки в кузов твердых бытовых отходов из стандартных контейнеров вместимостью 0,75 и 1,1 м<sup>3</sup>, уплотнения собранных отходов, транспортировки и механизированной разгрузки в местах утилизации.

По итогам презентации состоялись круглые столы с подписанием соглашений и протоколов о намерениях муниципальных предприятий различных городов приобретать данные современные коммунальные автомобили.

Источник: <http://www.kamaz.ru/ru/news/>



Дорожно-уборочная машина 3194А



## Факторы, влияющие на физическое состояние водителей

**Э.З. Муллакаев,**

начальник КБ интерьера ОАО «КАМАЗ»,

**А.Х. Уразаев,**

инженер-конструктор КБ интерьера ОАО «КАМАЗ»

Перечислены основные факторы, влияющие на физическое состояние водителей. Приведены ГОСТы, регламентирующие эти факторы.

**Ключевые слова:** автомобиль, безопасность, экология.

## Factors affecting the physical condition of drivers

**E.Z. Mullakayev, A.H. Urazaev**

**В**одитель автомобильного транспорта – одна из самых массовых профессий. Его работа по сути сводится к функциям оператора: получение и обработка информации, принятие решений и их исполнение. Повышенные требования предъявляются к сенсорным, моторным, интеллектуальным, психологическим качествам человека.

В процессе выполнения работы на водителя воздействуют высокое нервно-эмоциональное напряжение, монотонность, переутомление, относительно небольшая двигательная активность. На состояние здоровья и работоспособность, а, следовательно, и на надежность водителя, как основного звена в системе человек–автомобиль–дорога, непосредственное влияние оказывают условия труда. Неблагоприятные факторы производственной среды наряду с техническими могут служить причиной несчастных случаев и аварий на дорогах. По данным мировой статистики, основная причина 90 % дорожно-транспортных

происшествий (ДТП) – функциональное состояние водителей. При этом 70 % из них случаются вследствие утомления водителей. Если смотреть с точки зрения взаимодействия в системе человек–автомобиль–дорога, то 57 % ДТП происходят из-за ошибки человека, 27 % – из-за проблем взаимодействия человека и дороги, а 6 % – из-за проблем взаимодействия человека и автомобиля. Основные причины этих явлений обусловлены загрязнением воздуха кабины отработавшими газами, шумом, напряженностью труда, вибрацией, неблагоприятным микроклиматом – жарой или холодом.

К числу самых неблагоприятных производственных факторов на рабочем месте водителей относится шум. Допустимые уровни шума регламентируются ГОСТ Р 51616–2000. Анализ спектра шумов автомобилей позволяет считать их низкочастотными с выраженным инфразвуком. Уровень звукового давления на водителей превышает предельно допустимые значения в диапазоне

низких и средних частот. Между тем, даже весьма низкие уровни шумо-вибрационных воздействий в условиях психо-эмоциональной напряженности труда водителя отрицательно сказываются на его организме. Под влиянием шума снижается чувствительность органов слуха, скорость и точность сенсомоторных реакций, особенно сложно координированных действий, увеличивается латентный период зрительно-моторных реакций.

Шум в кабине автомобиля влияет на функциональное состояние водителя: нарушаются физиологические функции, появляется усталость в связи с повышенными энергетическими затратами и нервно-психическим напряжением, то есть возникает реальная угроза безопасности движения. Допустимыми уровнями шума в кабинах перспективных автомобилей следует признать: для легковых такси и автобусов – 50...60 дБ, для грузовых и легковых автомобилей – 60...70 дБ.

Тяжесть и напряженность труда водителей увеличивает вибрация, которая возникает при движении транспортных средств. Допустимые уровни вибрации установлены в ГОСТ 12.1.012–90. Вибрация действует постоянно и непрерывно, пагубно влияя на организм. Она может вызвать у человека ряд патологических и функциональных изменений, сопровождающихся снижением работоспособности, производительности и качества труда.

Люди ощущают вибрацию, начиная с 65 дБ, при значении более 80 дБ у них возникает дискомфорт. На автомобилях средней грузоподъемности уровень вибрации в зависимости от скорости движения и качества дорог колеблется от 80..86 до 125...134 дБ, на легковых

автомобилях – в пределах 78...127 дБ. Уровень общей вибрации на грузовых автомобилях составляет 108...122 дБ, на легковых – 100...118 дБ, на автобусах – 105 дБ.

Безопасность движения автомобиля в значительной степени зависит и от состояния микроклимата в салоне автомобиля, который обеспечивается эффективностью и уровнем автоматизации климатических установок, таких как системы отопления, вентиляции и кондиционирования. Требования к эффективности и безопасности данных систем установлены в ГОСТ 50993–96.

Микроклимат салона машины – это совокупность ее метеорологических условий: температуры воздуха, его влажности и давления, поступления кислорода, а также загазованности салона [1]. Микроклимат имеет большое значение как с точки зрения безопасности (чистые стекла повышают обзорность с места водителя, оптимальные влажность и температура позволяют водителю дольше сохранять работоспособность), так и с точки зрения комфорта, ведь большинство автомобилистов проводит за рулем достаточно длительное время в течение дня. Все это является серьезным основанием для оптимизации микроклимата на таких рабочих местах.

В настоящее время требования к микроклимату в значительной степени выросли. Особенно это касается транспортных средств повышенной опасности [2]. От микроклимата в салоне зависят состояние водителя, степень его утомляемости и скорость реакции.

Можно выделить несколько важных параметров, определяющих микроклимат.

Важной составляющей микроклимата является температура

внутри салона автомобиля. При недостаточно высокой температуре водитель и пассажиры мерзнут, а при повышенной температуре – быстрее утомляются, особенно зимой в теплой одежде [3].

Наиболее благоприятны: температура 18...20 °С, влажность 30...70 %. По данным большинства авторов, температура воздуха в кабинах автомобилей должна быть в следующих пределах: зимой 15...25 °С, летом 18...27 °С. При температурах ниже 10 °С начинается переохлаждение тела, при температурах выше 25 °С наступает физическое утомление, снижается внимание и увеличивается время реакции, при дальнейшем повышении температуры до 35 °С умственная деятельность ухудшается, замедляется реакция, появляются ошибки в управлении автомобилем, внимание снижается примерно на 10 %. Пониженная температура воздуха также отрицательно влияет на работу мышц, быстроту и точность движений, из-за чего водитель делает больше ошибок.

Исследованиями также установлено, что при температуре воздуха в кабине 13°С происходит больше дорожно-транспортных происшествий, чем при оптимальной температуре. Если кузов, панели, обивка, органы управления окрашены в светлые тона, то при стоянке автомобиля на солнце эти элементы нагреваются на 8...10 °С меньше, чем такие же элементы, окрашенные в темный цвет. При движении эта разница уменьшается до 1,5...2 °С. Слегка затемненные стекла задерживают 40...60 % тепла солнечных лучей, проходящих через прозрачное стекло.

Немаловажное значение для терморегуляции организма человека имеет движение воздуха в салоне,

однако сквозняки способны вызвать простудные заболевания [1].

Безусловно, к важным параметрам относится поступление кислорода, пониженное содержание которого приводит к сонливости и апатии, быстрому утомлению [2].

Хорошая вентиляция – одно из самых простых средств, при помощи которых можно обеспечить высокую работоспособность и уменьшить усталость. К сожалению, некоторые водители этого не знают, а многие забывают. Эффективная вентиляция удаляет из кабины автомобиля вредные газы и пары бензина, к которым водители быстро привыкают и перестают их чувствовать. Очень важно и то, что проветривание обогащает воздух кабины кислородом и, следовательно, отодвигает момент усталости водителя [3].

Еще один очень важный параметр микроклимата в автомобиле – влажность, которая не только влияет на общий комфорт поездки, но и сказывается на запотевании стекол автомобиля.

И, наконец, еще один параметр микроклимата в автомобиле – загазованность салона. Требования к содержанию вредных веществ в воздухе кабины определены в ГОСТ Р 51206–98.

Воздух в кабине автомобиля может содержать пары топлива и вредные примеси отработавших газов, среди которых наиболее опасен оксид углерода (СО), или угарный газ. Оксид углерода в составе отработавших газов попадает через щели в кабину автомобиля. В воздухе кабины изношенного автомобиля концентрация оксида углерода значительно повышается, особенно зимой, когда окна кабины закрыты.

При длительном пробеге автомобилей поршневая группа двигателя

значительно изнашивается. В результате этого отработавшие газы могут попадать в кабину. Предельно допустимое содержание отработавших газов – не более 10 мг/м<sup>3</sup>. Наибольшее же количество вредных примесей, в том числе и СО, образуется при неисправностях двигателя и работе двигателя на холостом ходу. В этом случае концентрация СО в кабине автомобиля увеличивается в несколько раз [3].

Даже если уровень токсичных веществ не превышает ПДК, они могут вызывать изменения в зрительном (снижение чувствительности сетчатки глаза), слуховом, вестибулярном анализаторах, уменьшение скорости реакций и нарушение цветоощущения. К концу рабочего дня в крови водителей отмечается увеличение карбоксигемоглобина, что становится причиной нарушения координации движений и замедления реакций.

Установлена тесная связь между уровнем загрязнения воздуха кабины автомобиля, работоспособностью водителя и частотой ДТП. Причем к воздействию токсичных веществ, в концентрациях даже ниже пороговых, нельзя привыкнуть. Адаптация человека к ним представляет собой одну из фаз интоксикации и сопровождается напряжением компенсаторно-защитных механизмов и, в первую очередь, регуляторных и координирующих систем организма.

Для борьбы с загазованностью ставят салонные угольные фильтры и газовые анализаторы, которые оперативно переключают климатическую установку в режим рециркуляции при повышенной концентрации вредных веществ за бортом автомобиля [2]. Другими направлениями в борьбе

с отравлением воздуха отработавшими газами являются:

- улучшение рабочего процесса двигателей внутреннего сгорания, в результате чего снижается токсичность отработавших газов;
- тщательная регулировка двигателя (правильно отрегулированный двигатель выделяет примерно в 10 раз меньше оксида углерода, чем неотрегулированный);
- тщательная установка резиновых прокладок, закрывающих отверстия в полу кабины;
- повышение эффективности системы отопления и вентиляции кабины (вентиляцию необходимо использовать даже при низкой температуре воздуха) [3].

Итак, климатическая установка современного автомобиля обеспечивает:

- постоянный приток свежего воздуха и удаление влажного воздуха из салона автомобиля (полный обмен воздуха в салоне автомобиля обычно происходит не реже одного раза в 4 мин);
- очистку поступающего воздуха от дорожной пыли и вредных газов;
- поддержание оптимальной (22 °С) температуры в салоне автомобиля;
- поддержание оптимальной (60 %) влажности воздуха в салоне автомобиля для предупреждения запотевания или замерзания стекол.

Обычно на автомобиле предусматривается простая климатическая установка, а более продвинутые автомобили комплектуются двух-, трех- и четырехзонными климатическими установками, а также автономными отопителями или обогревателями. В комплексе они представляют собой системы вентиляции, отопления и кондиционирования воздуха, обеспечивающие максимально комфортные условия в автомобиле независимо от погодных условий и температуры окружающей среды.

Температура в салоне регулируется смешиванием холодного и горячего воздуха. Система отопления повышает его температуру, система кондиционирования снижает температуру воздуха и его влажность, а система вентиляции обеспечивает воздухообмен, удаление теплоизбытков и подвижность воздуха. Автономный отопитель повышает температуру воздуха при любых режимах работы автомобиля.

Таким образом, основными факторами, влияющими на физическое состояние водителей, являются загрязнение воздуха кабины отработавшими газами, шум, напряженность труда, вибрация, неблагоприятный микроклимат. Эти факторы в значительной степени влияют на безопасность дорожного движения, поэтому минимизация их воздействия на водителя является очень важной задачей.

---

## Литература

---

1. **Косенков А.А.** Устройство автомобилей. Ходовая часть и прочие системы. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2005. – 509 с.: ил.
2. Справочно-информационный интерактивный интернет-каталог, интернет-портал: [abcibc.com/Главная/Авто/Микроклимат в автомобиле/](http://abcibc.com/Главная/Авто/Микроклимат%20в%20автомобиле/) <http://abcibc.com/auto.php?art=8>
3. Микроклимат кабины автомобиля: <http://2116.ru/articles/mikroklimat-kabiny-avtomobilya>

# Использование альтернативных источников энергии на предприятиях автомобильного транспорта

**И.К. Шарапова,**  
студентка МАДИ

В статье рассмотрены основные виды альтернативных источников энергии, потенциально пригодных для использования на предприятиях автомобильного транспорта в целях оптимизации программы энергосбережения.

**Ключевые слова:** энергетическое хозяйство, возобновляемые источники энергии, солнечные и ветроэнергетические установки, геотермальные ТЭС, правительственная программа.

## The use of alternative energy sources in enterprises of motor transport

**I.K. Sharapova**

The article describes the main types of alternative energy sources, which potentially can be used for enterprises of motor transport to optimize the energy efficiency program.

**Keywords:** energy management, renewable energy, solar and wind power, geothermal power plants, the government program.

**В** Российской Федерации потребители электроэнергии все чаще переходят на самообеспечение энергией для снижения затрат на электроэнергию и тепло в условиях постоянного роста тарифов естественных монополий, а также стоимости других видов топлива (бензин, дизельное топливо, мазут, уголь, дрова и т.д.). Это необходимо также для того, чтобы обезопасить себя от внезапных отключений электроэнергии и тепла, аварий на ЛЭП и трубопроводах, погодных катаклизмов.

Российские компании предпочитают вкладывать деньги в строительство собственных электростанций вместо того, чтобы покупать энергию на рынке. В этом случае энергия

стоит в 1,5-2,5 раза дешевле покупной, так как не приходится платить за транспортировку и гарантированный резерв мощности для каждого потребителя, а также оплачивать потери в сетях [1]. Зачастую плата за присоединение сопоставима со стоимостью строительства собственной генерации, которая может окупиться достаточно быстро. Собственная электростанция часто оказывается экономически более выгодной как для крупных промышленных предприятий, так и для среднего бизнеса.

Рассматривая отрасль автомобильного транспорта, можно отметить, что автотранспортные предприятия (АТП) разукрупняются. А небольшие АТП часто не могут

позволить себе централизованное обеспечение энергией, и для них собственная генерация электроэнергии является особенно актуальной.

Электрическая энергия АТП расходуется на осуществление технологических процессов, освещение производственных и других площадей и помещений административно-бытового корпуса, привод систем отопления, вентиляцию и другие производственные нужды. Тепловая нагрузка состоит из расходов теплоты на отопление, вентиляцию, кондиционирование (сезонное потребление), горячее водоснабжение и работу производственно-технологических систем (круглогодичное).

В надежном, бесперебойном и экономичном обслуживании производства необходимыми энергоресурсами и в их бережливом использовании значительная роль принадлежит энергетическому хозяйству АТП. Его структура в основном определяется применяемой технологией, масштабом производства и уровнем развития энергетики района. Энергетическое хозяйство предприятия выполняет следующие функции:

- производство энергии;
- преобразование электроэнергии, обеспечение цехов, участков и рабочих мест энергией на потребительском напряжении;
- передачу и распределение энергии независимо от источника ее поступления по сетям, организацию потребления энергии;
- организацию связи между подразделениями предприятия (радио, телефон и т.д.);
- надзор за электроустановками, а также их ремонт и модернизацию;
- организацию хранения топлива.

Планирование потребности в энергии, выбор источников ее покрытия, а также установление лимитов ее расхода подразделениями предприятия (цеха, участки) осуществляются балансовым методом. В расходной части любого энергетического

баланса определяют потребность в энергии. Задачами его приходной части являются выбор и обоснование источников покрытия потребности в энергии. Планы потребления энергии разрабатываются на основании прогрессивных норм расхода на единицу продукции и объема производства в плановом периоде.

Плановая потребность в различных видах энергии в условных единицах

$$W_p = W_n + W_{oc} + W_{от} + W_{вент} + W_{пр} + W_{отп} + W_{пот'}$$

где  $W_n, W_{oc}, W_{от}, W_{вент}, W_{пр}$  – расход энергии на планируемый выпуск продукции с учетом изменения заделов, освещение, отопление, вентиляцию, прочие нужды соответственно;  $W_{отп}$  – отпуск энергии на сторону;  $W_{пот'}$  – потери в сети [2].

Свободный энергобаланс позволяет установить направления использования энергии по ее видам, общий расход энергии всех видов и эффективность ее использования.

АТП – крупные потребители электрической и тепловой энергии. Так, на один проведенный капитальный ремонт автомобиля требуемая мощность электродвигателей составляет около 0,6 кВт и годовой расход электроэнергии (силовая и осветительная) – 1,5 тыс. кВт·ч [2].

Особенностью АТП является то, что энергия расходуется не только на технологические нужды, связанные с



**Рис. 1.** Сравнение структуры энергопотребления в мире (а) и в России (б)

обслуживанием и ремонтом подвижного состава, но и на отопление зоны хранения автомобилей или подогрев и разогрев двигателей в зоне хранения (таблица).

Собственная генерация позволит снизить расходы, однако остается зависимость компаний от роста цен на топливо для собственных электростанций – автономных дизельных электростанций или газоиспользующих мини-электростанций.

Другой альтернативный путь снижения зависимости от поставщиков энергоресурсов заключается в снижении потребления электроэнергии и необходимой установленной мощности за счет генерации теплоты и электроэнергии на основе возобновляемых источников энергии (ВИЭ). К ним относятся энергия солнца, ветра, биомассы, малых рек, геотермальная энергия, природная и сбросная низкотемпературная теплота.

Структура энергопотребления в России в корне отличается от общей мировой структуры потребления (рис. 1). В России активно внедряются технологии БиоТЭС (биотеплоэлектростанция) – 62 против общемирового уровня в 12 %, а также малых ГЭС – 33 против 6 %. При этом почти совсем не развиваются направления ветро- и солнечной энергетики [3].

Наиболее популярным альтернативным источником энергии в России является биомасса. Среди всех альтернативных способов получения энергии на роль БиоТЭС отводится более 60 %. Для северо-западного региона РФ этот источник энергии является наиболее предпочтительным в силу многих причин. Во-первых, соседство стран ЕС стимулирует привлечение новых технологий и инвестиций в этот регион. Во-вторых, северо-западный регион богат (в европейской части России) лесными ресурсами, а отходы их переработки (щепки, брикеты и т.д.) являются экологически наиболее чистым топливом. Практически вся деревообрабатывающая промышленность имеет минимум 20...30 % отходов, которые уже сейчас трансформируются в топливо для БиоТЭС [4].

Эффективным направлением развития нетрадиционной энергетики является использование энергии небольших водотоков с помощью малых ГЭС. Современная гидроэнергетика по сравнению с другими традиционными видами электроэнергетики

**Примерные удельные энергетические показатели для АТП на 200 автомобилей при закрытом хранении [2]**

| Показатель                           | Автомобиль |          |         |
|--------------------------------------|------------|----------|---------|
|                                      | Грузовой   | Легковой | Автобус |
| Мощность токоприемников, кВт         | 2,3        | 1,8      | 3,5     |
| В том числе:                         |            |          |         |
| силовые                              | 1,9        | 1,5      | 2,5     |
| осветительные                        | 0,4        | 0,3      | 1,0     |
| Годовой расход электроэнергии, кВт·ч | 2,2        | 2,0      | 4,0     |
| Потребляемая мощность, кВт           |            |          |         |
| силовая                              | 1,0        | 0,8      | 1,3     |
| осветительная                        | 0,4        | 0,3      | 0,9     |

является наиболее экономичным и экологически безопасным способом получения электроэнергии. Небольшие электростанции позволяют сохранять природный ландшафт, окружающую среду не только на этапе эксплуатации, но и в процессе строительства. Последующая эксплуатация не влияет отрицательно на качество воды: она полностью сохраняет первоначальные природные свойства. В отличие от других экологически безопасных возобновляемых источников электроэнергии – таких как солнце, ветер – малая гидроэнергетика практически не зависит от погодных условий и способна обеспечить устойчивую подачу дешевой электроэнергии потребителю. Еще одно преимущество малой энергетике – экономичность. Сооружение объектов малой гидроэнергетики низкзатратно и быстро окупается.

Геотермальные электростанции (ГеоТЭС) вырабатывают электрическую энергию из тепловой энергии подземных источников, например, гейзеров. Доступ к теплым подземным водам возможен при помощи глубинного бурения скважин. Главным достоинством геотермальной энергии является ее практическая неиссякаемость и полная независимость от условий окружающей среды, времени суток и года. Существуют следующие принципиальные возможности использования теплоты земных глубин: воду или смесь воды и пара в зависимости от их температуры можно направлять для горячего водо- и теплоснабжения, выработки электроэнергии или одновременно для всех этих целей. Главная из проблем, которые возникают при использовании подземных термальных вод, заключается в необходимости обратной закачки отработанной воды в подземный водоносный горизонт. В термальных водах содержится большое количество солей различных токсичных металлов и химических соединений, что исключает сброс этих

вод в природные водные системы, расположенные на поверхности.

Зарубежный опыт показывает, что первоначальные затраты на строительство геотермальных ТЭС довольно значительны. Однако поскольку эта энергия бесплатная и к тому же возобновляемая, отопление впоследствии становится дешевле в два раза.

Недостатками применения ГеоТЭС являются трудности в эксплуатации станций, их негативное воздействие на окружающую среду и возрастающая стоимость 1 кВт установленной мощности. К тому же геотермальная энергетика не мобильна, она территориально привязана к источникам, находящимся порой в труднодоступных, малоосвоенных, преимущественно горных районах. Еще одна сложность использования геотермальных вод – их высокая минерализация. В отдельных местах она достигает 400 г/л. Из-за этого может наступить закупоривание скважин.

Технологии использования ВИЭ неуклонно совершенствуются и становятся все более конкурентоспособными и привлекательными. Повышенный интерес к применению экологически чистых ВИЭ связан как с ростом цен на традиционные энергоносители, так и с угрозой антропогенного загрязнения окружающей среды, в том числе энергетическими объектами.

Использование ВИЭ уже сегодня является реальной и доступной альтернативой традиционной топливной энергетике, использующей газ, уголь, мазут, дизельное топливо, и обладает следующими преимуществами:

- доступностью ресурсов;
- их неограниченностью;
- отсутствием платы за них.

К недостаткам ресурсов альтернативной энергетики относится их непостоянство во времени и пространстве. Поэтому использование ВИЭ требует тщательного расчета и подбора оборудования, определенных навыков и знаний.

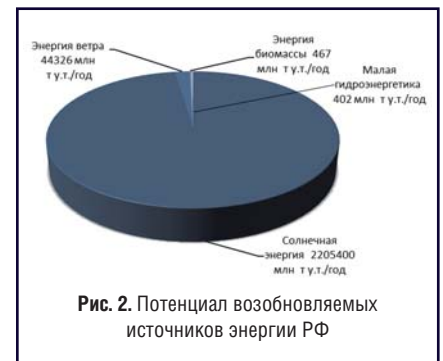


Рис. 2. Потенциал возобновляемых источников энергии РФ

В настоящее время на первое место выходит вопрос о внедрении новейших технологий, которые позволили бы сохранить экологическую обстановку и обеспечить потребности в энергии. Во всем мире всерьез задумываются об увеличении доли альтернативных источников электроэнергии. Так, Международное энергетическое агентство полагает, что в 2030 г. во всем мире энергия, полученная от солнца, ветра, воды, тепла земли, а также из биомассы, увеличится в два раза по сравнению с сегодняшним днем и составит 16 % всего производства. А по мнению Европейского отраслевого союза возобновляемых источников энергии, к 2030 г. доля альтернативной энергии вырастет до 35 % [1].

Потенциал возобновляемых источников энергии РФ, по экспертным оценкам [5], отражен на рис. 2.

В настоящее время в мире широкое применение находят солнечные электростанции. Повышение эффективности солнечных элементов и качества материалов позволило за два последних десятилетия снизить на 80 % затраты на их сооружение [6]. Солнечные элементы встраивают в кровельную черепицу, керамические плитки и оконные стекла, что позволяет получать электричество и в отдельных зданиях.

Опыт работы солнечных электростанций показал, что большую пользу приносит не только пассивное использование солнечной энергии, но и пассивные системы теплоснабжения (солнечные коллекторы с водой или

с другим аккумулятором теплоты). Также большое значение имеют активные системы фотоэлементов, функционирующих и при облачной погоде.

В Лаборатории возобновляемых источников энергии и энергосбережения ИВТ РАН разработан Атлас распределения ресурсов солнечной энергии по территории России, создана климатическая база данных, ориентированная на исследования в области солнечной энергетики. Наземных станций, на которых проводятся систематические измерения потоков солнечного излучения на территории России, насчитывается всего около ста, что явно недостаточно для районирования всей территории страны. Поэтому в исследованиях были использованы также спутниковые данные NASA, полученные за 10 лет наблюдений за радиационным балансом земной поверхности, в том числе и над территорией России (рис. 3) [7]. Для эффективного преобразования энергии Солнца важно выбрать оптимальный угол наклона солнечного коллектора, при котором суммарное поступление энергии солнечного излучения на приемную поверхность за рассматриваемый период работы максимально. Оптимизация угла позволяет в 1,3-1,5 раза увеличить сбор энергии по сравнению с ее поступлением на горизонтальную поверхность. Более 60 % территории России, в том числе и многие северные районы, характеризуются поступлением энергии 3,5...4,5 кВт·ч/(м<sup>2</sup>·сут) [8].

Важным фактором, определяющим экономическую эффективность применения солнечных установок, является продолжительность их использования в течение года. Проблема заключается в том, что для высокоширотных районов различие в поступлении радиации летом и зимой достаточно велико. Так, для территорий, расположенных за Полярным кругом, значительная часть



Рис. 3. Среднедневные суммы солнечной радиации за год на территории России (оптимально ориентированная поверхность)

зимнего времени приходится на полярную ночь. В средней полосе России, в том числе и в Москве, поступление энергии солнечного излучения в летний период в пять раз больше, чем в зимний [8]. В этой ситуации данный источник энергии целесообразно использовать как сезонный, работающий только в теплый период или круглый год, с учетом того, что солнечные коллекторы должны иметь большую поверхность для сбора менее интенсивных потоков радиации.

Ветроэнергетические установки на сегодняшний день – основной способ преобразования ветровой энергии в электрическую. Ветроустановки, как и солнечные электростанции, особенно эффективны для небольших предприятий, автономных энергопотребителей, отдаленных от централизованных систем энергоснабжения. Для них энергия ветра и солнца является самым экономичным источником электричества. Этот вид энергии не только экологически чист, но и дешев.

Россия обладает колоссальным суммарным потенциалом энергии ветра (рис. 4) [7]. Вдоль берегов Северного Ледовитого океана на протяжении 12 тыс. км господствуют ветры со среднегодовой скоростью свыше

5...7 м/с. Считается, что ветроустановки эффективны при среднегодовых скоростях ветра выше 4...5 м/с. Суммарный технический ветропотенциал России оценивается примерно в 14 тыс. ТВт·ч/год, что превосходит более чем в 15 раз реальную выработку всех электростанций страны [1]. Согласно Национальному кадастру ветроэнергетических ресурсов более 30 субъектов РФ обладают ветроэнергетическими ресурсами, достаточными для эффективного их использования по всем международным критериям.

Несмотря на очевидные преимущества и существующий потенциал развитие собственной генерации на основе ВИЭ в РФ пока еще находится в зачаточном состоянии. Причин тому несколько:

- не везде есть ресурсы для развития подобной генерации;
- скепсис по отношению к новому;
- есть примеры неудачно реализованных проектов, причины провала которых зачастую кроются в некомпетентности заказчиков и недобросовестности исполнителей;
- высокая стоимость (обычно в России принято считать стоимость проекта по первичным капиталовложениям, а не по стоимости всего жизненного цикла проекта);

- трудность привлечения финансирования в условиях кризисного состояния экономики.

Правительство РФ приняло программу развития альтернативной энергетики, где предполагается увеличение ее доли в энергобалансе страны до 4,5 % к 2020 г. Привлечь инвесторов предполагается компенсацией в размере 2,5 коп./кВт·ч. Эти деньги будут браться со всех потребителей электроэнергии [9].

Использование и развитие альтернативной энергетики не имеют смысла без комплексного и масштабного внедрения принципов энергосбережения и применения современного энергоэффективного инженерного оборудования.

Федеральный закон «Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности» – базовый документ, определяющий государственную политику в области энергосбережения. В качестве первого шага вводится запрет на производство, импорт и продажу ламп накаливания мощностью 100 Вт и более, с 2013 г. – ламп 75 Вт и более, с 2014 г. – 25 Вт и более. Второй блок закона объединяет набор инструментов, стимулирующих энергосбережение в госсекторе, куда входит обязанность бюджетных организаций снижать объемы потребления энергоресурсов не менее чем на 3 % ежегодно в течение 5 лет. При этом за бюджетной

организацией сохраняются средства, сэкономленные благодаря проведению мероприятий по энергосбережению и энергоэффективности, а также возможность их перераспределения, в том числе и в фонд оплаты труда. Законом также установлена обязанность разработки программ по энергосбережению и повышению энергоэффективности для государственных компаний, бюджетных организаций и учреждений, а также для регионов и муниципалитетов, причем это увязано с бюджетным процессом [9].

Следующий важный аспект – отношение между государством и бизнесом. Для стимулирования перехода бизнеса на энергоэффективную политику установлены экономические рычаги, в частности, предоставление налоговых льгот, возмещение процентов по кредитам на реализацию проектов в области энергосбережения и повышения энергоэффективности.

Энергосбережение на предприятиях автомобильного транспорта – это комплекс мер, направленных на сокращение расхода энергии от внешних источников. Он включает снижение потерь в электросетях предприятия, трансформаторах, электрооборудовании и осветительных приборах, использование энергоэффективного электрооборудования, оптимизация его загрузки, замена недозгруженного электрооборудования.

Структура энергосбережения складывается из работ, связанных с проведением энергетических обследований, учета энергетических ресурсов, разработки мероприятий и энергосберегающих программ по следующим направлениям:

- электроснабжение и электропотребление;
- теплоснабжение и теплопотребление;
- вентиляция и кондиционирование воздуха;
- холодоснабжение;
- водоснабжение и канализация.

Проведение мероприятий, направленных на энергосбережение предприятиями автомобильного транспорта, позволяет решить вопросы эффективного использования энергоресурсов и снижения финансовой нагрузки на энергообеспечение производства.

Развитие ВИЭ – одно из прогрессивных направлений в энергетике, которое приобретает особое значение в условиях стоящих в России задач модернизации экономики, повышения энергоэффективности и развития энергосберегающих технологий.

## Литература

1. <http://www.piterbell.ru/>
2. <http://inf-remont.ru/>
3. **Казанцев Т.В.** Солнечная энергетика в России и мире // <http://www.energyland.info>. 2011.
4. Комбинирование альтернативных источников – ветер, солнце, биотопливо // <http://www.spbenergo.com/>
5. **Безруких П.П.** Развитие возобновляемой энергетики – один из эффективных путей выхода России из кризиса. – Конференция «Возобновляемые источники энергии». – 2010. // <http://www.mattexpo.ru/>
6. **Сидоренко И.О.** Перспективы применения альтернативных источников энергии. – МОУ СОШ № 22, Владивосток, 2006.
7. **Попель О.С.** Автономные энергоустановки на возобновляемых источниках энергии // Энергосбережение. – 2006. – № 3.
8. **Попель О.С., Прошкина И.П.** Солнечная Россия // В мире науки. – 2005. – № 1. – С. 14-18.
9. Энергосбережение, энергоэффективность, альтернативная энергетика: анализ существующих решений и перспективы развития для бизнеса (часть 1) // <http://aenergy.ru/>

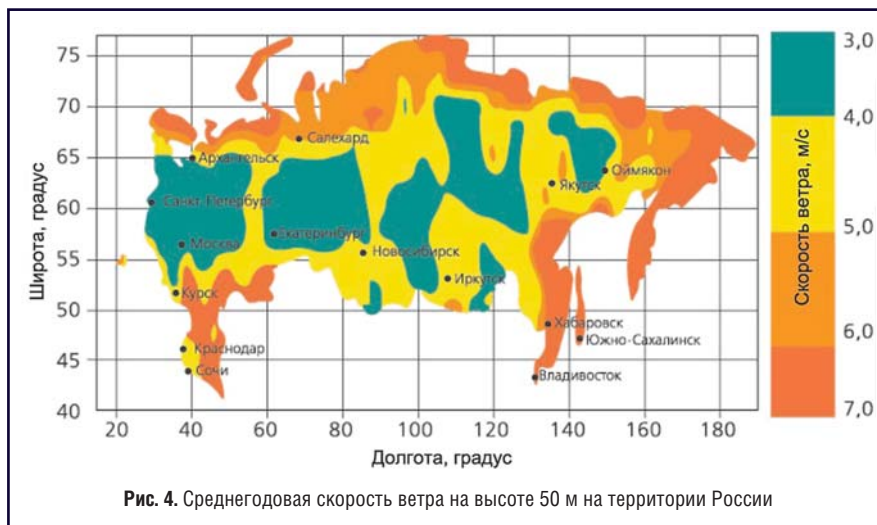


Рис. 4. Среднегодовая скорость ветра на высоте 50 м на территории России



## Нижегородская область: перевод муниципального транспорта на газ

Нижегородская область – один из передовых регионов России по использованию газа в качестве моторного топлива и развитию необходимой для этого инфраструктуры. Около 4,5 % нижегородского транспорта заправляется сжиженным углеводородным газом (СУГ). Парк газобаллонных автомобилей обслуживает 80 автогазозаправочных комплексов, из которых 22 расположены в Нижнем Новгороде. Газомоторный рынок региона продолжает расти: в Нижегородской обл. ежемесячно на газ переводят 120-150 машин. В основном это транспорт коммерческих предприятий и предпринимателей.



**П**ервый проект перевода на газ муниципального автотранспорта в Нижнем Новгороде стартовал только в этом году. В апреле правительство области совместно с компанией «Газпром газэнергосеть» и ЗАО «СИБУР Холдинг» начали реализацию этого проекта. Газобаллонное оборудование установили на 99 ед. техники. В проекте приняли участие 10 автотранспортных предприятий из восьми муниципальных образований области – городов Нижний Новгород, Шахунья, Городец, Кулебаки, Выкса, а также поселков Красные Баки, Сосновское и Шаранга. К ним присоединились несколько образовательных учреждений, где на СУГ было переведено 18 школьных автобусов. Специалистам еще предстоит оценить экономический и экологический эффект от перевода муниципального транспорта на газ. О переводе муниципального транспорта на СУГ и его перспективах рассказал генеральный директор ООО «Газэнергосеть-Нижний Новгород» Андрей ТОЛМАЧЕВ.

**Корр.: Андрей Геннадьевич, что можете сказать о первых предварительных итогах перевода на газ муниципального транспорта?**

**А.Толмачев:** «Газэнергосеть-Нижний Новгород» впервые реализовала такой масштабный проект совместно с правительством Нижегородской обл. Конечно, мы столкнулись с самыми разными проблемами. Были разногласия, непонимание, нежелание делать что-то новое, но в конечном счете все получилось. Сегодня однозначно можно сказать, что проект успешный – он работает и позволяет экономить бюджетные средства. Сэкономлено в общей сложности уже около 3 млн руб. С каждых 100 км пройденного пути муниципалитеты экономят в среднем 213 руб.

**Корр.: Проект перевода на газ муниципального транспорта имеет статус пилотного, это в некотором роде эксперимент. Он будет продолжен?**

**А.Толмачев:** Когда мы только начинали этот проект, губернатор Нижегородской обл. Валерий Шанцев отметил, что рассматривает возможность перевода на газ всего муниципального транспорта. Мы поддерживаем такое намерение регионального правительства. Наша компания готова принимать участие в новых проектах. Для их реализации сейчас есть все предпосылки. Имею в виду недавно вступившие в силу поправки к Федеральному закону № 261 об энергосбережении. Если раньше перевод транспорта на газ был инициативой руководителей отдельных предприятий и глав муниципалитетов, то теперь это будет обязанностью. Естественно, это касается территорий, где есть соответствующая инфраструктура.

**Корр.: Планируется ли развитие этой инфраструктуры в Нижегородской обл., будет ли расширяться сеть АГЗС?**

**А.Толмачев:** В Нижегородской обл. газовая инфраструктура достаточно развита. На пальцах руки можно сосчитать районы, где нет хотя бы одной газовой заправки. Сегодня мы приглядываемся к нескольким площадкам для строительства АГЗС в Нижнем Новгороде, где

работает пока только одна наша заправка, остальные – в районах. Есть планы увеличить число наших АГЗС в областном центре до восьми. Эти планы утверждены нашей головной компанией в рамках стратегии развития розничной сети на период до 2017 г. Кроме того, сейчас на стадии согласования находятся проекты строительства АГЗС в гг. Лукоянов и Арзамас. Появлению этих проектов способствовала активная позиция глав муниципалитетов. У них было намерение перевести на газ муниципальный транспорт, но поблизости не оказалось газовых заправок, тогда и началась подготовка проектов их строительства.

Мы заинтересованы в росте газомоторного рынка, поэтому не оставляем без внимания тех, кто решил перевести свою машину на газ. Сейчас у нас работает три сервисных центра, где можно установить газобаллонное оборудование. В ближайшие месяцы планируется их модернизация с расширением перечня предоставляемых услуг.

Свои заправочные станции мы постепенно приводим к единым визуальным стандартам. Люди привыкают к новому бренду, начинают его узнавать и выбирать. Мы работаем в конкурентной среде, но чувствуем себя вполне комфортно, потому что предлагаем своим клиентам качественное топливо и услуги.

**Корр.: Использование в качестве автомобильного топлива не сжиженного углеводородного газа, а компримированного природного (КПГ) – одна из последних тенденций отечественной газомоторки. Будет ли компания развивать это направление?**

**А.Толмачев:** С КПГ дело обстоит сложнее. С одной стороны, выгодно заправлять машины метаном, он обходится в пределах 10 руб./л, в то время как пропан-бутановая смесь сейчас стоит 14-15 руб./л. К тому же расход топлива у автомобиля на метане меньше. Однако использование метана в качестве моторного топлива тормозится из-за неразвитой инфраструктуры. В Нижнем Новгороде сейчас всего одна метановая заправка, которая вряд ли рентабельна из-за незначительного количества автотранспорта, работающего на КПГ. Мы могли бы перевести, к примеру, дизельные городские автобусы на метан и для них построить несколько заправок. Но надо понимать, что заправка метаном одного автобуса – это не 10-20 мин, она растягивается на 1 ч и более. Приостановить работу маршрутного автобуса на столь продолжительное время проблематично. Ко всему прочему, метановое оборудование стоит дороже, чем газобаллонное для пропан-бутана.



**Корр.: В этом году в федеральном бюджете предусмотрели 3,5 млрд руб. субсидий для регионов. Эти средства местные власти могут получить на приобретение автобусов, работающих на газомоторном топливе. Нижегородская обл. претендует на получение такой субсидии?**

**А.Толмачев:** Да, для нашей области согласовано приобретение 14 автобусов, работающих на газе. Считаю, что этому способствовали благоприятная ситуация с развитием газомоторной инфраструктуры в Нижегородском регионе и успешная реализация нашего совместного с областным правительством пилотного проекта по переводу на газ муниципального транспорта.

#### Справка

ООО «Газэнергосеть-Нижний Новгород» – дочернее предприятие ОАО «Газпром-Газэнергосеть» на территории Нижегородской обл. Компания обеспечивает потребности рынка сжиженного углеводородного газа качественным и экологически чистым топливом, произведенным на заводах ОАО «Газпром». ООО «Газэнергосеть-Нижний Новгород» является уполномоченной компанией по реализации бытового газа населению, обеспечивая бесперебойные поставки, а также круглосуточное аварийно-диспетчерское обслуживание.

Беседу вела К.В. Незванова

## Авиационное сконденсированное топливо и его преимущества

**В.П. Зайцев,**

генеральный директор ОАО «Интеравиагаз»,

**Л.С. Яновский,**

профессор, начальник отдела ФГУП «ЦИАМ», д.т.н.

В статье приведены основные отличия АСКТ и авиакеросина марки ТС-1.

**Ключевые слова:** авиагаз, АСКТ, газолет, нефтяной газ, ПНГ, альтернативное топливо, Ми-8ТГ.

## Aviation condensed (gas) fuel and its benefits

**V.P. Zaytsev, L.S. Yanovskiy**

The paper represents the main differences of ACKT and aviation kerosene TC-1.

**Keywords:** aviagas, aviation condensed (gas) fuel ACKT, gazolet, oil gas, petroleum gas, LPG, alternative fuel, Mi-8TG.

В последние десятилетия в связи с ростом цен на топлива, производимые из нефти, исследования по поиску приемлемой им альтернативы начали проводиться и в авиации. В частности, анализ зарубежного опыта свидетельствует об активных исследованиях в этом направлении, проводимых в различных странах мира (США, Франция, Германия, Япония, Китай, Катар, Объединенные Арабские Эмираты, Иран, Египет и др.). В России был разработан опытно-промышленный экземпляр двухтопливного вертолета Ми-8ТГ, двигатели которого могут работать как на смеси высококипящих углеводородных газов, состоящей в основном из пропана и бутана, так и на авиакеросине ТС-1, а также на их смеси в любой пропорции.

Авиационное сконденсированное топливо (АСКТ) – это авиационное

топливо, которое вполне может конкурировать с традиционными авиатопливами. Рассмотрим, в чем же состоит отличие АСКТ, например, от авиакеросина ТС-1.

Авиакеросин ТС-1 является массовым реактивным топливом для до- и сверхзвуковой (с ограниченной продолжительностью сверхзвукового полета) авиации. Оно бывает прямогонным и смесевым. В последнем случае в прямогонную фракцию нефти добавляется гидроочищенный компонент. По физико-химическим свойствам топливо

ТС-1 должно удовлетворять требованиям ГОСТ 10227–62.

АСКТ представляет собой смесь парафиновых углеводородов от пропана ( $C_3$ ) до гексана (с доминированием бутана) с небольшой примесью более тяжелых парафиновых углеводородов (вплоть до  $C_{10}$ ). В технических условиях на АСКТ (ТУ 39-1547–91) предусмотрено ограничение на содержание пропана – мольная доля не более 7,2 %, так как он в основном и определяет давление насыщенных паров в топливном баке при плюсовых температурах. Содержание других компонентов не регламентируется. Основным сырьем (табл. 1) для получения АСКТ является попутный нефтяной газ (ПНГ).

Известно, что по склонности к дымообразованию углеводороды располагаются следующим образом: парафиновые < олефиновые < нафтенновые < ароматические.

Парафиновые углеводороды, из которых состоит АСКТ, характеризуются не только самым малым фактором дымности, но и наименьшей склонностью к образованию нагара. Этим и определяется существенно меньшая дымность АСКТ (она примерно на уровне легкого бензина Б-70) по сравнению с авиакеросинами (табл. 2).

### Давление насыщенных паров.

С ростом температур окружающей среды давление в топливных баках с АСКТ повышается. Это обусловлено, в основном, испаряемостью пропана. Поэтому баки с АСКТ будут

Таблица 1

Групповой углеводородный состав топлив ТС-1 и АСКТ

| Углеводороды  | Массовая доля, % |      |
|---------------|------------------|------|
|               | ТС-1             | АСКТ |
| Парафиновые   | 42...32          | 100  |
| Олефиновые    | 1,1...2,0        | 0    |
| Нафтенновые   | 30...49          | 0    |
| Ароматические | 11...21          | 0    |

несколько тяжелее баков с ТС-1, так как баки для АСКТ, рассчитанные на повышенное давление, должны иметь большую прочность, а значит и большую толщину стенок.

**Энергетическая эффективность.** Чем больше теплота сгорания топлива, эффективнее преобразование химической энергии в тепловую, меньше расход энергии на перевод жидкого топлива в парообразное и т.п., тем выше его энергетические возможности.

По удельной теплоте сгорания АСКТ превосходит реактивное топливо ТС-1 на ~5,0 %, что позволяет иметь на эту величину меньший запас топлива (по массе) при неизменной дальности полета.

Процесс преобразования химической энергии в тепловую у ТС-1, в отличие от АСКТ, в значительной степени зависит от режимных параметров камеры сгорания. Кроме того, полнота сгорания у авиакеросина ТС-1 тесно связана с температурой окружающей среды и значительно снижается в области низких отрицательных температур вследствие увеличения вязкости и ухудшения его испарения. АСКТ, температура кипения которого составляет -10 °С, при отрицательных температурах имеет в несколько раз меньшую вязкость и испаряется значительно легче. Меньшая вязкость АСКТ при отрицательных температурах позволит понизить разрешительный порог эксплуатации авиационной техники с -40 до -50 °С и ниже, а возможность двигателя работать на смеси АСКТ и керосина позволит варьировать величиной этого порога.

**Гетероатомные соединения.** В топливе ТС-1 имеются гетероатомные (меркаптаны, сульфиды, дисульфиды и др.), кислородсодержащие (нафтенновые кислоты, фенолы,

гидропероксиды, смолистые продукты), азотистые соединения (гомологи хинолина, пиридина и др.) и смолы (сложная смесь высокомолекулярных продуктов окислительно-уплотнения сернистых, азотистых и кислородсодержащих соединений), а также продукты их взаимодействия.

Наличие в топливах гетероатомных соединений крайне нежелательно. Они, как правило, ухудшают эксплуатационные свойства топлива

– понижают термостабильность, вызывают коррозию конструкционных материалов, повышают склонность топлива к дымлению и отложению нагара в камерах сгорания, ухудшают экологические показатели.

Массовая доля гетероатомных соединений в топливе ТС-1 может достигать 2 %. В АСКТ гетероатомные соединения практически отсутствуют.

**Механические примеси.** Топливо, заправляемое в летательный

Таблица 2

Физико-химические свойства топлив ТС-1 и АСКТ

| Показатель   | ТС-1               | АСКТ                   |
|--|--------------------|------------------------|
| Молекулярная масса   | 140                | 62,4...62,6            |
| Плотность при $t = 20\text{ °C}$ , кг/м <sup>3</sup>   | 780                | 585...629              |
| Давление насыщенных паров при $t = 45\text{ °C}$ , МПа   | –                  | ≤ 0,5                  |
| Температура начала кипения при давлении 0,1 МПа, °C  | ~140               | -10                    |
| Критические параметры<br>температура, °C<br>давление, МПа<br>плотность, кг/м <sup>3</sup>  | 362<br>2,44<br>248 | 170<br>3,9...4,0<br>–  |
| Кинематическая вязкость при $t = -20\text{ °C}$ , мм <sup>2</sup> /с   | 2,95               | 0,40...0,49            |
| Относительная диэлектрическая проницаемость при температуре<br>20 °C<br>40 °C  | 2,088<br>2,182     | 1,80<br>1,362          |
| Удельная теплота сгорания (низшая) при $t = 20\text{ °C}$ , кДж/кг   | 43287              | 45217...45845          |
| Теплота испарения при $t = -20\text{ °C}$ , кДж/кг   | 375                | 399                    |
| Стехиометрический коэффициент, кг возд./кг топл.   | 14,7               | 15,40...15,45          |
| Жаропроизводительность, °C   | 2160               | 2080                   |
| Температура, °C<br>вспышки<br>самовоспламенения  | ≥ 28<br>210...220  | -76... -83<br>400      |
| Максимальная нормальная скорость распространения пламени при $t = 20\text{ °C}$ , см/с   | ~39                | 38...39                |
| Концентрационные пределы распространения пламени при $t = 20\text{ °C}$ , % (об.)<br>нижний<br>верхний   | 1,2<br>7,1         | 1,5...1,6<br>9,5...8,0 |
| Минимальная энергия электрического разряда, необходимая для воспламенения топливно-воздушной смеси оптимального состава при $t = 20\text{ °C}$ , 10 <sup>-3</sup> Дж | ~0,30              | 0,25                   |
| Класс опасности  | 4                  | 4                      |
| Предельно допустимая концентрация паров топлива в воздухе рабочей зоны, мг/м <sup>3</sup>  | 300                | 300                    |

аппарат, должно соответствовать восьмому классу чистоты (ГОСТ 17216–71) при массовой доле механических примесей не более 0,0002 %. Механические примеси в реактивных топливах состоят из частиц пыли, песка, продуктов износа и коррозии металлов и их сплавов, твердофазных продуктов окисления топлива и технологических примесей. В АСКТ механические примеси отсутствуют. Это гарантируется специфической, изолированной от атмосферы, технологией его получения, хранения и транспортировки. Газовая топливная система летательного аппарата и двигателя также герметична по всем своим элементам.

**Содержание свободной и растворенной воды в топливе.** При изменении температуры, давления и влажности воздуха содержание воды в топливе ТС-1 постоянно меняется. При нагревании влага из надтопливного пространства, сообщающегося с атмосферой, переходит в топливо, растворяясь в нем. Если топливо охлаждается быстро, то растворенная вода за время охлаждения, не успевая перейти из топлива в воздух, конденсируется в виде второй жидкой фазы, образуя микроэмульсии или водный отстой. При отрицательной температуре топлива в процессе его охлаждения, в том числе при длительном полете, растворенная вода переходит в свободное состояние и замерзает, образуя мельчайшие кристаллы льда, способные забить топливные фильтры.

При эксплуатации авиационной техники общая массовая доля воды в реактивных топливах может достигать 0,008...0,010 %, в том числе растворенной – в пределах 0,002...0,007 %. Норма на массовое содержание свободной воды в заправляемом топливе составляет  $\leq 0,003$  %.

В АСКТ имеется только незначительное количество растворенной воды. Свободной воды в АСКТ быть не может, так как технологии его производства, хранения и транспортировки гарантируют от контактов с парами воды, а топливная система вертолета не сообщается с атмосферой (нет дренажной системы).

**Термоокислительная стабильность топлива.** Для топлива ТС-1 максимальная эксплуатационная температура по термоокислительной стабильности допускается в пределах 100...120 °С. АСКТ состоит из легких парафиновых углеводородов, что однозначно определяет его более высокую термоокислительную стабильность.

**Противоизносные свойства.** По этому показателю АСКТ уступает топливу ТС-1. Это обусловлено прежде всего тем, что вязкость АСКТ примерно на порядок меньше вязкости топлива ТС-1. Противоизносные свойства АСКТ можно улучшить с помощью специальных присадок, подобных вводимым в гидроочищенные авиационные топлива (например, в топливо РТ). С другой стороны, низкая вязкость АСКТ улучшает по сравнению с ТС-1 работу двигателей при низких температурах, что создает определенные эксплуатационные преимущества для авиатехники, работающей на севере.

**Склонность к дымлению, излучению и отложению нагара.** АСКТ благодаря углеводородному составу потенциально обладает существенно меньшей склонностью к дымлению, излучению и отложению нагара, чем авиакеросин. Это положение получило полное подтверждение в процессе стендовых испытаний двигателя ТВ2-117ТГ и летных испытаний экспериментального вертолета

Ми-8ТГ на бутановом топливе. Меньшая склонность к отложению нагара на стенках камеры сгорания и лопатках турбины обуславливает возможность значительного увеличения ресурса двигателей при использовании АСКТ.

**Пожароопасные свойства.** Топливо ТС-1 и АСКТ относятся к легковоспламеняющимся продуктам. Они характеризуются высокой жаропрочностью ( $>2000$  °С) и легко образуют с воздухом горючие смеси. При их горении выделяется большое количество продуктов сгорания. Однако, в отличие от АСКТ, продукты сгорания топлива ТС-1 обладают повышенной излучательной способностью пламени из-за наличия в них конденсированных частиц (сажа, капли, мехпримеси). Поэтому разлитое реактивное топливо будет гореть дольше и с более интенсивным излучением пламени, чем АСКТ.

Воспламенение паров ТС-1 и АСКТ может произойти от открытого пламени, искры, а также от любого нагретого тела, если его температура выше температуры самовоспламенения паровоздушной смеси. При выполнении различных технологических операций с этими топливами необходимо строго соблюдать правила пожарной безопасности, которые оговорены в технических условиях на топливо.

Топливо ТС-1 при хранении на борту летательного аппарата и на складе ГСМ, а также при некоторых вариантах перекачки и заправки находится в постоянном контакте с воздухом. Это повышает вероятность возникновения пожара. При проливе реактивных топлив происходит пропитка поверхностного слоя земли и смачивание конструктивных элементов, а при повторяющихся проливах – накопление его

в грунте, что создает определенные проблемы в экологическом и пожарном отношении.

Визуально обнаружить утечку АСКТ затруднительно. Поэтому на объектах его хранения и применения необходимо иметь специальную аппаратуру. Датчики утечек должны фиксировать паровоздушную смесь с объемным содержанием паров топлива на уровне не более 10...20 % нижнего предела воспламеняемого содержания и выдавать на пульт управления сигнал предупреждения.

При хранении, транспортировке и применении АСКТ необходимо также соблюдать требования безопасности в газовом хозяйстве, а также требования, содержащиеся в разделе II «Правил эксплуатации кустовых баз и газонаполнительных станций сжиженных углеводородных газов».

К положительным эксплуатационным особенностям АСКТ, отличающим его от ТС-1, относится отсутствие его контакта с воздухом на всем пути от производства до двигателя. Это практически сводит пожароопасность АСКТ к нулю. Она может возникнуть лишь в аварийных случаях, если будет нарушена герметичность емкостей и топливопроводов, то есть в нештатных ситуациях.

При аварийной разгерметизации емкостей и трубопроводов с АСКТ при плюсовых температурах окружающей среды газ будет испаряться и разноситься по ветру, при отрицательных температурах – разливаться, как и ТС-1, но при повышении температуры он испарится. Таким образом, смачивания грунта не произойдет. Следует заметить, что АСКТ, будучи тяжелее воздуха, может накапливаться в низменных местах. Это требуется учитывать и при безветрии применять повышенные меры предосторожности.

Таким образом, пожароопасность АСКТ не выше, чем ТС-1, а в ряде ситуаций даже ниже.

**Экологические показатели.** В продуктах сгорания реактивных топлив практически всегда присутствует группа полиароматических углеводородов (ПАУ) и продукты их химического взаимодействия с оксидами азота (нитроПАУ). Следует отметить, что этим веществам в определенных условиях присущи канцерогенные и мутагенные свойства по отношению к человеку и животным.

Продукты сгорания АСКТ экологически более чистые по сравнению с продуктами сгорания ТС-1. Это обусловлено тем, что в АСКТ отсутствуют ароматические и непредельные углеводороды, смолистые вещества, а также существенно меньше сернистых соединений. В продуктах сгорания АСКТ меньше конденсированных частиц и продуктов термического разложения исходных углеводородов.

По токсичности АСКТ относится к четвертому классу малоопасных веществ. Углеводороды, входящие в АСКТ, обладают легкими наркотическими свойствами. Вдыхание воздуха, содержащего пары АСКТ в концентрациях выше ПДК (более 300 мг/м<sup>3</sup>), вызывает наркотическое действие – ощущение головной боли, головокружение, раздражение глаз и верхних дыхательных путей. Однако вследствие ничтожной растворимости в крови легких парафиновых углеводородов, которые входят в состав АСКТ, возможность реального отравления парами АСКТ даже при существенном превышении ПДК маловероятна. Таким образом, АСКТ и продукты его сгорания по экологическим показателям значительно лучше ТС-1.

**Производство.** Производство реактивного топлива ТС-1 основано на использовании дорогостоящего химико-технологического процесса. Это связано с необходимостью обеспечить на выходе высокое качество сложного по своему химическому составу результирующего продукта, параметры которого должны удовлетворять почти 20 показателям, предусмотренным в ГОСТ. Причем, для контроля этих параметров обычно требуются многочисленные и зачастую весьма трудоемкие оборудование и методики.

АСКТ находится в попутном нефтяном газе (ПНГ) в естественном виде в смеси с другими газами. Поэтому его выделение не представляет особых трудностей, производится посредством обычных физических процессов (сжатие и охлаждение газа) и не требует использования сложного технологического оборудования. При этом по ТУ 39-1547-91 регламентируется содержание только одного компонента – пропана (не более 7,2 %). Поэтому это топливо можно получать даже на малогабаритной установке, основные агрегаты которой можно изготавливать на заводе и доставлять на место дислокации на вертолетах.

Себестоимость производства авиационного сконденсированного топлива значительно ниже, чем реактивного топлива – авиакеросина – и близка к себестоимости автопропана – ПБА или СПБТ.

Таким образом, АСКТ имеет ряд существенных преимуществ (особенно, для авиации) по сравнению с топливом ТС-1, которые в значительной мере компенсируют его несколько меньшую плотность и более высокое давление насыщенных паров.

## Сравнение газодизельного и газового режимов работы тепловозных дизелей

Д.Н. Григорович,

ведущий научный сотрудник ОАО «ВНИИЖТ», к.т.н.,

А.В. Заручейский,

зав. отделом ОАО «ВНИИЖТ», к.т.н.

В статье сравниваются газодизельный и газовый режимы работы тепловозных дизелей. Рассматриваются преимущества и недостатки каждого из режимов с учетом особенностей протекания рабочих процессов и условий эксплуатации. Показаны экономические и экологические преимущества циклов с применением газа по сравнению с дизельным циклом.

**Ключевые слова:** газодизельный цикл, газопоршневой двигатель, рабочий процесс, газозавозная смесь.

## Comparison of gas-diesel and gas modes of diesel engines

D.N. Grigorovich, A.V. Zarucheysky

The article compares gas-diesel and gas modes of locomotive engines. Advantages and disadvantages of each mode are reviewed taking into account the flow of work processes and operating conditions. Economic and environmental benefits of gas-diesel cycles compared to diesel analogs are also demonstrated in the article.

**Keywords:** gas and diesel cycle, gas-piston engine, work process, gas-air mixture.

Работы по созданию газотепловозов были начаты в нашей стране в середине 80-х гг. прошлого века. В 1984 г. был построен макетный образец маневрового газотепловоза на базе серийного локомотива ТЭМ2У для отработки основных технических решений. На Луганском тепловозостроительном заводе были построены три магистральных газотепловоза: два на базе тепловоза 2ТЭ10М и один на базе тепловоза 2ТЭ116 – соответственно 2ТЭ10Г и 2ТЭ116Г. Газотепловозы имели тендерные секции с двумя криогенными емкостями,

вмещающими 17 т сжиженного природного газа (СПГ). В 1991 г. были проведены теплотехнические испытания газотепловоза 2ТЭ10Г, которые выявили ряд недостатков газодизеля 10ГД100Б и регазификатора.

В 1997-1998 гг. на Брянском машиностроительном заводе были построены два опытных газотепловоза ТЭМ18Г с газодизель-генератором ГДГ50 Пензенского дизельного завода. С конца 2000-го г. тепловоз ТЭМ18Г-001 был введен в эксплуатацию с механической системой газоподдачи.

Созданный в 2010 г. газотепловоз ЧМЭЗ-1994 с электронной системой управления газоподачей был испытан на экспериментальном кольце ОАО «ВНИИЖТ» и в 2011 г. передан в опытную эксплуатацию на Московскую железную дорогу. Эксплуатация показала надежную работу газового оборудования, однако по причине отсутствия газозаправочной инфраструктуры в Московском регионе эксплуатация тепловоза на газе продлилась только 6 мес. В 2012 г. было принято решение передать тепловоз в регион с наличием газовой инфраструктуры, где можно от его эксплуатации получить экономический эффект.

Эксплуатационные испытания газотепловозов показали, что суммарное замещение дизельного топлива газом при работе тепловоза по газодизельному циклу составляет около 60 %. Это позволяет получить экономический эффект, определяемый разностью цен на дизельное топливо и газ. После создания заправочной газовой инфраструктуры экономия средств на моторное топливо для тепловозов должна составить около 30 %.

Проблема снижения выбросов вредных веществ в атмосферу является актуальной задачей для железнодорожного транспорта РФ. Несмотря на то, что число тепловозов и путевых машин в сотни раз меньше чем автомобилей, суммарные выбросы дизелей тягового подвижного состава составляют: CO – 2,3 %, CH – 4,8 %, NO<sub>x</sub> – 38 %, SO<sub>2</sub> – 11 %, сажи – 11 % общих выбросов автомобильного транспорта. Как показали реостатные испытания, при работе тепловоза по газодизельному циклу значительно снижается образование вредных веществ в процессе горения топлива: оксида углерода в 2,5 раза, сажи

Характеристики основных видов топлива ДВС

| Топливо           | Температура самовоспламенения, °С |             | Число     |           | Теплотворная способность |                    | Удельная масса |                   |
|-------------------|-----------------------------------|-------------|-----------|-----------|--------------------------|--------------------|----------------|-------------------|
|                   | $p = 0,1$ МПа                     | $p = 3$ МПа | октановое | цетановое | кДж/кг                   | кДж/м <sup>3</sup> | кг/л           | кг/м <sup>3</sup> |
| Дизельное топливо | 340-355                           | 205         | 15        | 50        | 42700                    | –                  | 0,87           | –                 |
| Бензин            | 470-530                           | 275         | 90        | 26        | 44000                    | –                  | 0,72           | –                 |
| Метан             | 650-750                           | 470         | 110-120   | 2         | 49900                    | 35780              | –              | 0,717             |

в 2-4 раза, серных соединений в 5 раз, оксидов азота – на 20 %.

В зависимости от состава топлива и способа его воспламенения тепловозный дизель может работать по дизельному, газовому или газодизельному циклам. В дизельном цикле газ отсутствует, а дизельное топливо воспламеняется при его сжатии в цилиндре. Газовый режим предполагает работу дизеля на природном газе без добавки дизельного топлива с искровым зажиганием газозооной смеси в цилиндре, при газодизельном режиме зажигание газозооной смеси осуществляется с помощью запальной порции дизельного топлива. При газодизельном и дизельном режимах зажигание происходит за счет повышения температуры в результате сжатия топливовоздушной смеси. Когда температура недостаточна для воспламенения газа, добавляется запальная порция дизельного топлива (табл. 1).

Температура самовоспламенения природного газа и цетановое число резко отличаются от аналогичных параметров дизельного топлива. Поэтому при использовании газообразных топлив с малой по сравнению с дизельным топливом молекулярной массой добиться самовоспламенения и сгорания так же, как и при работе на тяжелом жидком топливе, затруднительно. Даже при высоких степенях

сжатия в дизелях невозможно достичь надежного самовоспламенения, так как период запаздывания воспламенения значительно возрастает. Увеличение степени сжатия для создания требуемых условий самовоспламенения природного газа связано с серьезными конструктивными доработками двигателя и сопряжено с повышением механической и термической нагрузки.

Для перевода дизеля на газодизельный режим необходимы минимальные конструкторские изменения, так как степень сжатия двигателя (геометрические размеры цилиндра-поршневой группы) не изменяется. В конструкцию двигателя добавляются газовый смеситель, механизм ограничения подачи дизельного топлива, система регулирования подачи газа, устройство для взаимосвязанного управления топливным насосом высокого давления и подачей газа, а также электрооборудование, которое обеспечивает необходимую информативность и защиту дизеля от нештатных режимов работы.

Газодизельный режим обеспечивает конвертируемость двигателя, то есть возможность работать на газовом и дизельном топливах, что обуславливает повышение надежности перевозок как маневровыми, так и магистральными тепловозами. В соответствии с этим в конструкции газотепловоза должны

быть предусмотрены емкости для газа и дизельного топлива, а также возможность выбора режима работы дизеля простым переключением, без каких-либо добавочных работ.

Работы по газовому режиму требуют уменьшения степени сжатия двигателя, изменения камеры сгорания, создания системы электрического зажигания, что связано с большими затратами, соизмеримыми с созданием нового двигателя. Перевод дизельного двигателя на газовый режим ведет к уменьшению мощности и ухудшению топливной экономичности двигателя. Например, двигатели 6ЧН22/28 нижегородского ОАО «Румо» в дизельном и газодизельном вариантах имеют мощность 750 кВт, а при газовом режиме мощность снижается до 560 кВт (на 26 %), и увеличивается удельный расход топлива на 12 %. Дизели типа 10Д100 имеют мощность 2050 кВт, а их газовые модификации 11ГД100 – 1500 кВт (на 26 % меньше).

Опыт перевода на газовое топливо двигателей КАМАЗ 740.13-260 также показал, что газодизельный процесс обеспечивает получение той же мощности, что и у дизеля-прототипа («Транспорт на альтернативном топливе», 2009 г., № 2, с. 47-50). Двигатель этой серии с искровым зажиганием имеет максимальную мощность, примерно на 11...15 % меньшую из-за



ограничений по тепловой напряженности деталей. Относительно высокую степень сжатия на газопоршневых дизелях удастся получить только на двигателях малой мощности, в несколько раз меньшей, чем у тепловозных дизелей.

При работе двигателя в газовом режиме необходимо обеспечить искровое зажигание. В цилиндрах больших диаметров, характерных для тепловозных двигателей, не достигнута надежная продолжительная работа систем искрового зажигания. Требования к свечам зажигания газовой смеси с воздухом более высокие, чем в бензиновых двигателях. Исследования по переводу дизелей на газовый цикл с искровым воспламенением выявили, что газозвушная смесь имеет худшую воспламеняемость по сравнению с бензовоздушной смесью. Поэтому для компенсации более низкой воспламеняемости газозвушной смеси нужно применять системы зажигания высокой энергии и более совершенные свечи зажигания.

Организовать работу тепловозного дизеля по газовому циклу с воспламенением от искры достаточно сложно и на аппаратном уровне. При дуговом разряде продолжительностью  $t=1$  мс между электродами свечей современных конструкций достигается напряжение  $U=3000$  В при токе  $I=100$  мА. Энергия разряда такой свечи составит

$$E = UIt = 3000 \cdot 0,1 \cdot 10^{-3} = 0,3 \text{ Дж.}$$

Цикловая подача запальной порции дизельного топлива при работе маневрового тепловоза по газодизельному циклу составляет 100...300 мг. При теплоте сгорания дизельного топлива 42700 кДж/кг энергия, вносимая 100 мг дизельного топлива, составит 4270 Дж,

что на несколько порядков больше, чем энергия свечи. С учетом того, что качество воспламенения заряда пропорционально вносимой энергии, можно сделать вывод, что даже самые современные свечи не могут обеспечить качественное воспламенение газозвушной смеси в цилиндре тепловозного дизеля.

Немалое значение имеют относительно большие объемы цилиндров тепловозных дизелей. В небольших цилиндрах автомобильных и тракторных дизелей протекание процессов имеет принципиальные отличия. Особенно это относится к процессу самовоспламенения топлива, которое происходит при прогрессивном повышении температуры рабочего тела. Произойти самовоспламенение может при условии, если тепловыделение больше теплоотвода. Так как выделяемая в ходе реакции теплота частично рассеивается в окружающую среду путем теплоотвода, то геометрические размеры рабочего объема цилиндра и условия теплоотвода имеют большое значение. В центральной зоне факела преобладает конвективный теплообмен со стенками камеры сгорания. Теплообмен стенок камеры сгорания с окружающей средой происходит главным образом посредством теплопроводности. Условия протекания такого процесса определяются критерием Франк-Каменецкого:

$$F_k = \frac{Q k_0 E_a r^2}{\lambda R T^2} e^{-\frac{E_a}{RT}},$$

где  $Q$  – тепловой эффект реакции, Дж/кг;  $k_0$  – предэкспоненциальный множитель уравнения Аррениуса, (м·К)/кг;  $E_a$  – энергия активации топлива, Дж/моль;  $r$  – характерный размер камеры сгорания (радиус для цилиндрических и сферических камер сгорания), м;

$\lambda$  – коэффициент теплопроводности;  $R$  – универсальная газовая постоянная, Дж/(моль·К);  $T$  – температура окружающей среды, К.

Самовоспламенение может произойти при  $F_k > F_{k_{кр}}$ . Критическое значение  $F_{k_{кр}}$  зависит от геометрической формы реакционного сосуда и кинетических особенностей реакции. Для цилиндра  $F_{k_{кр}} = 2$ , для сферы  $F_{k_{кр}} = 3,32$ . Зависимость  $F_k$  от квадрата радиуса цилиндра определяет различные условия самовоспламенения в тепловозных дизелях с диаметрами цилиндров около 300 мм по сравнению с небольшими автомобильными с диаметрами цилиндров 70...100 мм.

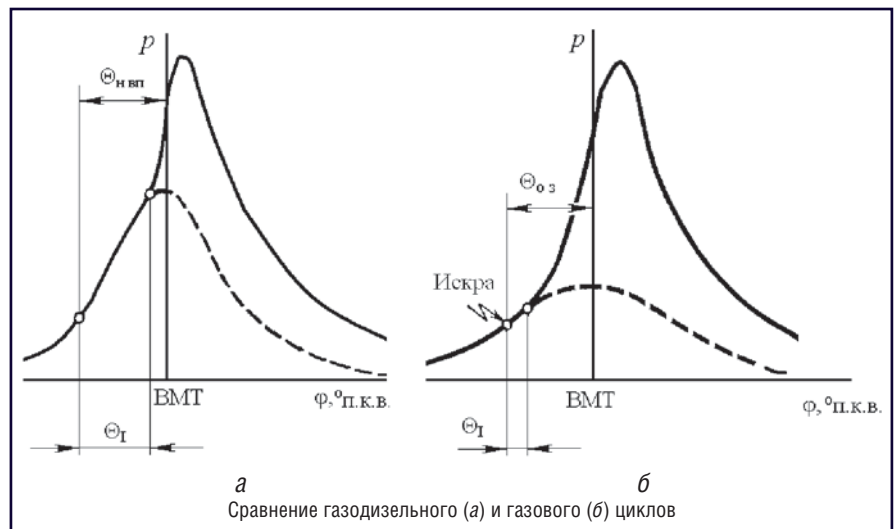
Для зажигания газозвушной смеси в газовых двигателях с большим объемом цилиндров иногда применяют предкамеры или вихревые камеры, размещаемые в крышках цилиндров в дополнение к впускным и выпускным клапанам. Предкамеры снижают надежность крышек цилиндров и уменьшают КПД двигателя из-за возрастающих тепловых потерь. Кроме того, такое решение приводит к значительной раз унификации дизельных и газовых двигателей одного типа.

Экономичность газодизельного цикла с воспламенением от сжатия в среднем на 20 % превосходит экономичность цикла, при котором рабочая смесь воспламеняется от искрового разряда. Различия этих двух циклов определяются характером кинетики химических реакций. Если смесь дизельного топлива, воздуха и газа в цилиндре дизеля к моменту достижения температуры самовоспламенения достаточно однородна, то ее воспламенение будет объемным, сопровождающимся одновременным возбуждением экзотермических реакций во всем объеме цилиндра.

Такое горение заканчивается раньше, чем горение с переносом фронта пламени от очага воспламенения, что повышает экономичность цикла за счет более эффективного использования работы расширения газов вблизи ВМТ. Мощность дизеля при такой организации рабочего процесса можно повышать путем подачи части топлива после момента самовоспламенения, а также изменением угла опережения подачи топлива. Процесс сгорания топлива при этом остается управляемым.

Для воспламенения топливной смеси от искрового разряда его энергия должна быть достаточно большой, чтобы поддержать распространение пламени по всему объему цилиндра тепловозного дизеля. В случае применения свечи зажигания в цилиндре диаметром около 300 мм и со степенью сжатия 12...13 температура искрового промежутка должна быть выше  $10^4$  К. При такой температуре топливная смесь в зоне искрового промежутка реагирует без задержки воспламенения с образованием достаточно большой доли углеводородов, меняющих свой молекулярный состав вследствие термической диссоциации и ионизации без сгорания. Дальнейшее распространение пламени происходит в виде волны от очага воспламенения по всему объему цилиндра.

В каждый момент такого процесса имеются зона со свежей смесью и зона с продуктами сгорания, которые разделены фронтом пламени, где происходит реакция. Волна давления большой энергии, исходящая от очага воспламенения, достигнув поршня, создает ударную нагрузку на относительно небольшую часть его поверхности. Эффективность воздействия



давления на поршень при таком процессе обратно пропорциональна диаметру поршня и намного ниже, чем в газодизельном цикле, при котором нельзя выделить аналогичные зоны, а энергия газов создает равномерное давление на всю поверхность днища поршня.

Еще одной причиной снижения экономичности цикла при зажигании от искрового разряда наряду с менее благоприятными условиями сгорания топлива являются увеличенная продолжительность сгорания и, как следствие, перенос большей части работы расширения газов дальше от ВМТ, где эффективное давление снижается из-за увеличения объема цилиндра.

Более раннее воспламенение смеси для сокращения потерь на стадии расширения может привести к диффузионному горению, которое характеризуется турбулентной скоростью распространения пламени. Нормальная скорость распространения пламени  $u_n$  определяется молекулярным переносом теплоты и зависит от температуропроводности  $a$  рабочей среды и скорости химических реакций  $w$

$$u_n = k\sqrt{aw},$$

где  $k$  – коэффициент, зависящий от состава топлива.

Если за счет увеличения температур зоны искрового разряда и распространяемого от него фронта пламени  $w > u_n$ , то скорость распространения пламени резко увеличится и станет турбулизованной. При этом фронт турбулентного пламени искривляется и дробится на большое число очагов, а горение становится неуправляемым.

Эффективность газодизельного и газового циклов с приблизительно одинаковой цикловой работой газов определяется площадью индикаторной диаграммы (рисунок). Угол начала впрыска дизельного топлива  $\theta_{н.вп}$  в газодизельном цикле равен углу опережения зажигания  $\theta_{о.з}$  газового цикла. При этом угол задержки начала видимого горения  $\theta_г$  газодизельного цикла значительно больше, чем газового. Причина этого, как показано выше, заключается в характере развития горения в относительно большом цилиндре дизеля. Давление в газовом цикле на стадии сжатия до угла, соответствующего  $\theta_г$  газодизельного цикла, поднято за счет сжигания топлива, в то время как у газодизельного цикла это давление достигается за счет сжатия. Дополнительное сжигание топлива снижает экономичность газового

цикла. Повысить давление сжатия за счет увеличения степени сжатия  $\epsilon$  в газовом цикле до уровня газодизельного и сдвинуть влево угол  $\theta_{ос}$  нельзя, так как это приведет к недопустимо большому максимальному давлению сгорания и жесткости процесса, а существующий угол  $\theta_{ос}$  при повышении  $\epsilon$  значительно увеличит отрицательную работу газов на стадии сжатия.

Преимуществом работы двигателя по газовому циклу является полное замещение дизельного топлива газом. Однако экономия от замещения дизельного топлива газом нивелируется затратами на дополнительный расход газа вследствие менее экономичного рабочего процесса.

Еще одним недостатком газовых двигателей является то, что их приемистость в связи с инерционностью газовой аппаратуры не удовлетворяет требованиям, предъявляемым к двигателям тепловозов в отношении скорости набора нагрузки (не менее 100...120 кВт/с). На газодизельных двигателях она достигается на переходных процессах увеличением подачи жидкого топлива, что не может быть сделано в газовом двигателе.

Перечисленные особенности газопоршневых двигателей объясняют отсутствие (за исключением опытных образцов) практики их применения на тепловозах. Двухтопливные газодизельные двигатели, работающие с использованием природного газа (до 80...85 % общего расхода топлива) и допускающие мгновенный переход на дизельное топливо и обратно, являются в настоящее время наиболее выгодным видом энергоустановок для дизельных тепловозов, использующих природный газ. Простота и относительно малая стоимость

**Сравнение газовых и газодизельных двигателей**

| Газовые двигатели   | Газодизельные двигатели  |
|---|--|
| <b>Преимущества</b>   |  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Полное замещение дизельного топлива газом</li> <li>• Хранение на борту одного вида топлива</li> <li>• Снижение затрат на обслуживание топливной аппаратуры</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Минимальные конструкторские изменения и капитальные вложения при конвертировании дизеля</li> <li>• Возможность работать на двух видах топлива</li> <li>• Быстрый набор мощности на переходных процессах за счет добавки дизельного топлива</li> <li>• Приемистость не ниже дизельного цикла</li> <li>• Облегченный запуск на дизельном топливе</li> </ul> |
| <b>Недостатки</b>   |  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Снижение мощности в среднем на 25%</li> <li>• Ненадежная работа искрового зажигания</li> <li>• Ограничения использования вследствие более низкой приемистости</li> <li>• Меньший запас топлива на борту тепловоза</li> <li>• Увеличенный удельный расход газа в среднем на 12 %</li> <li>• Более узкий диапазон возможных <math>\alpha^*</math></li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Заправка и хранение двух видов топлива</li> <li>• Частичное замещение дизельного топлива газом</li> </ul>   |
| <b>Выводы</b>   |  |
| Экономически оправданы при наличии заправочной газовой инфраструктуры   | Экономически оправданы в существующих условиях эксплуатации тепловозов   |

\*  $\alpha$  – коэффициент избытка наддувочного воздуха.

переоборудования тепловозного дизеля для работы на природном газе, сохранение мощности и топливной экономичности, обеспечение надежности и удобства эксплуатации позволяют сделать вывод о целесообразности организации на тепловозных двигателях газодизельного цикла.

Газодизельный цикл позволяет запускать дизель на дизельном топливе, что немаловажно, так как сложно обеспечить воспламенение газа в непрогретых цилиндрах при малой скорости нарастания частоты вращения коленчатого вала. При недостаточном или избыточном количестве газа возникает неустойчивое горение газозвушной смеси и пропуски воспламенения (табл. 2).

Таким образом, преимущества газодизельного режима работы тепловозного дизеля перед газо-

вым определяются особенностями протекания рабочих процессов и условиями эксплуатации. Условия протекания рабочих процессов зависят от геометрических размеров цилиндров дизеля, степени сжатия, частоты вращения коленчатого вала. Это определяет существенные различия эффективности газового цикла для тепловозных и автомобильных дизелей. Эффективность газодизельного цикла тепловозного дизеля не уступает дизельному, но значительно ниже газового. У автомобильных и тракторных дизелей эти различия небольшие, особенно с учетом возможности повышения степени форсирования двигателя. Практически все тепловозные дизели имеют высокую степень форсирования по наддуву, что не оставляет резерва для компенсации недостатков газового цикла.

## Иннопром-2012

В июле 2012 г. состоялась III Уральская международная выставка и форум промышленности и инноваций «Иннопром-2012», которые традиционно проходят в Екатеринбурге (МВЦ «Екатеринбург-Экспо»).



ООО «Газпром трансгаз Екатеринбург», ООО «РариТЭК» и ОАО «КАМАЗ» совместно представили на выставочной площадке образцы техники, работающей на сжиженном (СПГ) и компримированном (КПГ) природном газе, а также инфраструктуру метановых заправок. В этом году совместная экспозиция состояла из нескольких серийных моделей:

- дорожная машина ЭД-405 АГ;
- городской автобус НЕФАЗ-5299-30-31;
- грузопассажирский автомобиль АРОК с кран-манипуляторным устройством на полноприводном шасси КАМАЗ-43114-30;

- мусоровоз Miniрак МК-2 на шасси КАМАЗ-4308;
- бортовой автомобиль на шасси КАМАЗ-65115-30.

Среди представленных образцов техники были и новинки 2012 г.:

- самосвал КАМАЗ-6520-34;
- автокран КС-55713-5к-1 на шасси КАМАЗ-43118-34;
- тягач КАМАЗ-65116-34.

Все образцы оснащены газовыми двигателями КАМАЗ, крайне актуальными сегодня в связи с тенденцией подорожания нефти и нефтепродуктов, а также из-за жестких требований соответствия экологическим стандартам. Лидер отечественного грузового

автомобилестроения КАМАЗ не первый год занимается разработкой перспективных моделей, работающих на КПГ.

Выставку посетили председатель правительства Свердловской обл. Денис Паслер и его заместитель Александр Петров, первый заместитель губернатора ХМАО-Югры Александр Ким, генеральный директор ООО «Газпром трансгаз Екатеринбург» Давид Гайдт и генеральный директор ООО «Газпром трансгаз Югорск» Петр Созонов. Были также представители ООО «Газпром трансгаз Томск», ОАО «Газпром газэнергосеть», министерств и ведомств Свердловской, Челябинской, Тюменской обл., руководители компаний и предприятий.

Изюминкой стенда, привлечшим наибольшее внимание посетителей, стал седельный тягач КАМАЗ-65116-34 с криобакком на СПГ. Отличительной чертой этого автомобиля является наличие двух типов топливных баков. За кабиной хранится компримированный природный газ, а на раме расположен криобак с СПГ. Использование топлива двух типов позволяет решить вопрос дозаправки при неразвитой в стране инфраструктуре по обеспечению автомобилей сжиженным природным газом.

Газ в криобаке находится при температуре  $-168^{\circ}\text{C}$ , а его объем составляет 400 л, или  $240\text{ м}^3$ , что достаточно для пробега на расстояние до 600 км. Общий пробег при использовании двух типов топлива может составить до 1050 км.

В рамках выставки был проведен «круглый стол» на тему «Использование СПГ и КПГ в качестве альтернативного вида топлива», на котором генеральный директор ООО «РариТЭК» Рафаэль Батыршин выступил с докладом «Разработка и изготовление автомобилей с газовым двигателем КАМАЗ».



## Выставка GasSUF–2012 завершила свою работу!

4–6 сентября состоялась 10-я международная выставка технологий распределения и использования газа GasSUF–2012. Все посетители и участники отметили качественную организацию, а также увеличение масштаба выставки. Экспозиционная площадь возросла на 30, а число посетителей – на 10 %.



Открытие выставки

Организаторами выставки стали Международная выставочная компания MVK в составе группы компаний ITE, ОАО «Газпром», НП «Национальная газомоторная ассоциация» при официальной поддержке ООО «Газпром ВНИИГАЗ», ОАО «Газпром промгаз», Министерства промышленности и торговли РФ, Московской торгово-промышленной палаты и Торгово-промышленной палаты РФ. Генеральный информационный партнер – журнал «Транспорт на альтернативном топливе».

Насыщенная деловая программа GasSUF была разнообразна.

В первый день состоялась пресс-конференция компании Rugasco, на которой были подведены итоги ее работы за прошлый год, обсуждены возможности и перспективы компании в области производства

и поставок различных видов полимерно-композитных систем для транспортировки и хранения газа высокого и низкого давления.



Выступает Д.Хюстер

Заседание Национальной газомоторной ассоциации (НГА) состоялось во второй выставочный день. Были обсуждены вопросы деятельности НГА. Всего на собрании присутствовал 31 представитель из 42 членов Партнерства. С отчетом о работе НГА выступил исполнительный директор Е.Н. Пронин. Он отметил, что в прошедшем периоде были продолжены издание журнала «Транспорт на альтернативном топливе», создание и продвижение сайта ассоциации, организация автопробегов «Голубой коридор», участие в конференции «Газ в моторах – 2011», а также оказана помощь в организации 10-й международной выставки GasSUF – 2012 и принято участие в ее работе.

В последний день работы выставки состоялся круглый стол, на котором была обсуждена подготовка к 6-му международному пробегу газовых автомобилей заводского изготовления «Голубой коридор 2012». В заседании приняли участие представители ОАО «Газпром» и его аффилированных организаций, компании E.ON Ruhrgas, Российско-германского энергетического агентства RUDEA, Российского газового общества, НГА, автомобильных заводов КАМАЗ, ВАЗ, АВТОВАЗ, а также поставщики газоиспользующего и газозаправочного оборудования.

С сообщением об организации и маршруте автопробега выступил



На вопросы отвечает В.Н. Матюшечкин

Е.Н.Пронин. Представитель посольства ФРГ в РФ Д.Хюстер в докладе «Энергетическая стратегия правительства ФРГ на транспорте» привела статистику о числе автомобилей на газомоторном топливе и заправочных станций в Германии.

В докладах немецких партнеров были представлены убедительные цифры по использованию газомоторного топлива в России и Германии, а также отмечено взаимовыгодное сотрудничество наших стран.

Начальник управления ОАО «Газпром» В.Н. Матюшечкин отметил, что

в России и Европе есть хорошие перспективы для развития данного вида бизнеса, а также привел данные о запасах газа в России и о перспективах развития газомоторного рынка в стране.

С.В. Гуськов, директор Российского газомоторного общества (РГО), осветил задачи, стоящие перед РГО, и назвал 16 направлений деятельности общества, среди которых важнейшей является нормативная и законодательная деятельность.

Генеральный директор ООО «РариТЭК» Р.Р. Батыршин рассказал о заводском производстве газовых автомобилей на ОАО «КАМАЗ» и представил линейку оборудования – тягачи, автобусы, спецтехнику (в том числе краны), оборудованные для газомоторного топлива, а также разъяснил необходимость создания специальных заправочных сервисов в стране.

Все участники круглого стола единодушно отметили важность перехода на газовое топливо, его экономические и экологические преимущества.

По завершении круглого стола выступающие подвели итог. Е.Н. Пронин напомнил всем участникам о том, что старт 6-го международного автопробега «Голубой коридор» состоится 8 сентября в 08:00 по московскому времени и пройдет по маршруту Орша – Минск – Варшава – Острава – Прага – Мангейм – Париж – Брюссель – Берлин.

Директор выставки GasSUF-2012 Р.Газарян так комментирует итоги мероприятия: «GasSUF – одна из центральных выставок, посвященных

вопросам распределения и использования газа в России и Восточной Европе. Выставка с каждым годом становится все более значимой и перспективной для бизнеса».

Ее слова подтверждает статистика за 2011 г.:

- 91,7 % посетителей пришли на выставку с профессиональным интересом;
- 88,9 % участников нашли новых партнеров;
- 16 % участников по итогам выставки заключили новые контракты;
- 55,6 % участников получили актуальную информацию о тенденциях рынка.

Были получены самые благоприятные отклики участников и посетителей GasSUF. Некоторые компании уже в первые дни выставки продали машины и оборудование, представленные на стендах, и заключили контракты на будущие поставки. Некоторые экспоненты приняли решение об участии в следующем году в GasSUF-2013.



Автомобили, представленные на выставке



Участники выставки

# Основы эффективной перекачки газов

Основная цель операций перекачки – экономичная доставка сжиженного газа как можно ближе к месту окончательной обработки, упаковки или потребления. Перегрузка может происходить с использованием специализированного оборудования с необходимыми эксплуатационными характеристиками в любом месте, куда может быть подана железнодорожная или автоцистерна.

**К** числу наиболее эффективных технологий перекачки сжиженных газов относится технология, использующая линию, оснащенную шиберными насосами и компрессорами, обеспечивающими возвратно-поступательное движение газа. Этот способ предотвращает многие проблемы обслуживания, которые возникают при использовании традиционных насосов и компрессоров. Теперь он взят на вооружение ведущими производителями оборудования.

Для больших нагрузок наиболее эффективны самовсасывающие шиберные насосы, способные работать некоторое время в «сухом» режиме. Их высокая всасывающая способность позволяет применять их для очистки линий транспортировки. Шиберные насосы при минимальной доработке можно использовать для перекачки любых других продуктов при максимальном рабочем давлении 1,2 МПа. Частота оборотов двигателя насосов составляет 1200 мин<sup>-1</sup> как с электрическим, так и с гидравлическим приводами. При перегрузке, которая может осуществляться с помощью стационарных и мобильных систем, насосы подключаются к линии транспортировки железнодорожной цистерны. При этом интенсивность потока ограничивается мощностью системы.

Пластины в шиберных насосах свободно скользят в пазах ротора. При вращении ротора под действием центробежной силы жидкость под давлением поступает в насосную камеру, полностью ее заполняя, и затем во всасывающее отверстие. При откачке всей жидкости из трубопровода перекачка завершается. Этот простой принцип перекачки уже более века считается промышленным стандартом. Данная технология позволяет шиберным насосам

безопасно и эффективно перекачивать многочисленные виды продукции:

- чистые неагрессивные промышленные жидкости и нефтепродукты;
- агрессивные жидкости, к которым относятся растворители для тяжелых нефтей, высоковязких жидкостей, абразивных шламов, коррозионных и едких жидкостей, чернил, краски и клеев;
- опасные жидкости и биотоплива.

Для перекачки сжиженных газов наряду с шиберными используются насосы и других типов, прежде всего динамические (центробежные, вихревые), работа которых основана на силовом взаимодействии вращающейся лопасти с жидкостью. В результате такого взаимодействия жидкости передается энергия и совершается работа по ее перемещению. Жидкость, проходя между лопастями рабочего колеса, под действием центробежных сил выбрасывается в неподвижный периферийный канал, который служит для отвода жидкости и направления ее в напорный расширяющийся патрубок. Здесь скорость жидкости снижается, а ее давление увеличивается. Вследствие движения жидкости от оси к периферии колеса создается область пониженного давления, благодаря чему возникает постоянный ток жидкости из приемного патрубка к рабочему колесу.

Однако практика показывает, что шиберные насосы экономичней, компактней и легче динамических. При этом они менее чувствительны к изменениям рабочего давления и дешевле в обслуживании и ремонте. Кроме того, шиберные насосы более эффективны в условиях работы с кипящими жидкостями, для которых характерно возникновение кавитации (образование

пузырьков-каверн, заполненных газом, с последующим их разрушением в результате конденсации паров, сжатия потока и смыкания пузырьков, сопровождающееся высокочастотными гидравлическими микроударами). С появлением кавитации подача насоса снижается, возникает характерный шум при вскипании жидкости, наблюдаются резкие частотные колебания давления в нагнетательной линии и ударные нагрузки на детали насоса, которые могут вызвать выход его из строя.

Оптимизировать операции по перегрузке сжиженного газа можно с помощью компрессоров. На такте впуска компрессор втягивает пар и понижает давление в принимаемой емкости. Повышенное давление в цистерне и пониженное в резервуаре создают перепад давления между емкостями. В результате жидкость перекачивается быстро и спокойно без превышения столба жидкости над всасывающим насосом и возникновения проблем кавитации.

Для эффективного ведения процесса необходимо поддерживать перепад давления между резервуарами в пределах 0,15...0,3 МПа. Компрессоры успешно применяются и для операций только с паровой фазой таких технических газов, как пропан, бутан, безводный аммиак, диоксид углерода, хладагенты, диоксид серы, хлор, винилхлорид, природный газ, азот и др. При этом наиболее мощные модели обеспечивают подачу до 2500 л/мин. В настоящее время в связи с развитием автоматики переполнение и подача жидкой фазы по трубопроводу на всасывающую линию компрессора при правильной настройке оборудования невозможны.

По потреблению мощности компрессоры превосходят насосы в 2-3 раза, поэтому компрессорная технологическая схема характеризуется повышенным расходом электроэнергии. При этом вследствие достаточно больших тепловых потерь эффективность использования компрессоров для слива и налива сжиженных газов снижается с ростом металлоемкости газохранилища и протяженности трубопроводов. К недостаткам указанной технологической схемы следует также отнести и невозможность ее применения в районах с суровыми климатическими условиями, так как упругость паров пропана-бутана в резервуарах почти достигает

атмосферного давления и отбор паров из них практически невозможен.

Существует несколько отличная схема перекачки сжиженных газов, в которой компрессор отсасывает пары из сепаратора жидкой фазы, в результате чего в нем возникает пониженное по сравнению с опорожняемым резервуаром давление. За счет перепада давления сжиженный пропан-бутан из опорожняемого резервуара поступает в сепаратор, а паровая фаза компрессором по байпасной линии возвращается в опорожняемый резервуар. Сепаратор расположен таким образом, чтобы разность уровня жидкости в сепараторе и отметки оси насоса была достаточна для обеспечения его бескавитационной работы. Из сепаратора насосом жидкая фаза подается в напорный трубопровод для наполнения резервуаров.

В районах Крайнего Севера, Сибири и Дальнего Востока, где преобладают низкие среднегодовые температуры, в зимний период упругость паров пропан-бутана в резервуарах составляет меньше 0,15 МПа, то есть избыточное давление меньше 0,05 МПа. При этом напрямую отбирать пары из резервуаров

базы хранения компрессором практически невозможно. Перемещение сжиженных газов в этих случаях осуществляется с помощью испарителей. При работе по рассматриваемой технологической схеме резервуары хранилища и испарители соединяются трубопроводами для жидкой и паровой фаз. Повышение давления в паровом пространстве опорожняемого резервуара достигается с помощью испарителей объемного или проточного типов. При этом пары сжиженных газов перегреваются за счет теплоты, принесенной извне.

Механизм слива с использованием объемных испарителей заключается в следующем: пропан-бутаном наполняется один из испарителей, линия жидкой фазы от резервуаров отключается, подается теплоноситель. Сжиженный газ в теплообменнике (объемный испаритель) подогревается, упругость паров повышается. Пары с высокой упругостью подаются в опорожняемый резервуар, в котором создается повышенное давление, за счет чего и происходит слив пропан-бутана. После слива сжиженного газа в опорожняемом резервуаре остаются пары, для удаления

которых из транспортных цистерн могут быть использованы инжекторы сжиженного газа. Энергоносителем в этих случаях служат перегретые пары пропан-бутана из объемного испарителя.

В насосно-испарительной технологической схеме повышение давления в паровом пространстве опорожняемого резервуара достигается с помощью испарителей объемного типа. Они создают подпор, обеспечивающий нормальную работу насоса. Схема с использованием объемных испарителей применяется при необходимости обеспечить высокую подачу. В других случаях сжиженный газ сливают с помощью проточных испарителей. Опорожняемый резервуар соединяется с испарителем трубопроводами для жидкой и паровой фаз. Теплоноситель подводится к испарителю, где происходит испарение сжиженного газа и перегрев паров, которые поступают в опорожняемый резервуар. Подача теплоносителя регулируется давлением в опорожняемом резервуаре. Повышение давления в резервуаре способствует нормальной работе насоса при сливе сжиженного газа.



## ГНС

Проектирование, поставка оборудования, строительство, реконструкция, модернизация



## АГЗС

Проектирование, поставка оборудования, строительство, монтаж, пусконаладка



## Посты

заправки бытовых газовых баллонов с электронным управлением с возможностью автоматизации

# FAS

## Flüssiggas-Anlagen

Компания Flussiggas Anlagen GmbH (FAS) (основана в 1975 году) – современное динамичное производство, зарекомендовавшее себя как поставщик эффективных решений для работы со сжиженными газами. За время работы оборудованием компании FAS оснащены сотни объектов нефтегазового комплекса во многих странах Европы и мира: комплектные газовые терминалы, газовые и многотопливные заправочные станции и многое другое. Постоянными заказчиками компании стали многие ведущие нефтегазовые компании.

**16 лет в России!**

узнайте подробнее  
**WWW.FAS.SU • (495) 647 0577 • (812) 332 0527**



## ТРК

Топливораздаточные колонки с кориолисовыми счетчиками (учет объема в л, массы в кг, плотности и температуры). Гарантия – 3 года.



## Резервуары

Собственное серийное производство резервуаров для СУГ объемом 4,6; 6,5; 8,5; 9,2 и 20,0 м<sup>3</sup>



## САГ

Станции автономного газоснабжения производительностью от 32 до 14 000 кг/ч

РЕКЛАМА





## Боливия: развитие рынка газового моторного топлива

И.Ф. Маленкина,

ООО «Газпром ВНИИГАЗ», к.т.н.,

А.Р. Дельгадильо,

студент РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина

Рассказано о проблемах, особенностях и перспективах рынка моторных топлив в Боливии с учетом данных важнейших государственных компаний и организаций.

**Ключевые слова:** рынок КПП Латинской Америки, использование КПП в Боливии.

## Development of the gas motor fuel market in Bolivia

I.F. Malenkina, A.R. Delgadilyo

Article tells about problems, features and prospects of the motors fuels market in Bolivia. Authors base on the data of the major state companies and organizations.

**Keywords:** the CNG market of Latin America, CNG use in Bolivia.

Стремительный рост парка авто-транспортных средств и массовая автомобилизация повседневной жизни людей ставят перед мировым сообществом задачи топливного обеспечения автотранспорта, развития дорожно-транспортной инфраструктуры, сокращения экологической нагрузки на окружающую среду. Сегодня численность мирового автопарка составляет более 1,0 млрд ед. Ежегодно в мире производится около 70 млн ед. автомобильной техники, которая требует новых поступлений на рынок автомобильного топлива.

Несмотря на наличие запасов нефти и газа Боливия испытывает проблемы с обеспечением внутреннего рынка моторным топливом, и расширение использования природного газа в качестве моторного топлива

является разумным и объективно обоснованным. Это приемлемый и ресурсообеспеченный путь к решению экономических и экологических проблем, а также к достижению топливно-энергетической независимости страны.

Все большее число моделей автомобилей, использующих газовое топливо, выпускается в заводском исполнении, также активно переоборудуются на КПП бензиновые транспортные средства. Интерес к газовым моторным топливам в Боливии во многом обусловлен ростом цен на нефтепродукты и успешным опытом применения компримированного природного газа (КПП/CNG) в странах Латинской Америки, особенно в соседней Аргентине, где в настоящее время основными альтернативными топливами являются

КПП и сжиженный углеводородный газ (СУГ).

По данным МГС и НГА<sup>1</sup>, странам Латинской Америки принадлежит 1/3 мирового рынка КПП (31 % парка CNG-автомобилей и 28 % численности АГНКС). Боливии принадлежит пока лишь 3 % объема потребления КПП на южноамериканском континенте. Однако процесс газификации транспорта в настоящее время достаточно устойчив, а наличие запасов природного газа усиливает этот процесс.

Боливия обладает большими запасами природного газа, который экспортируется главным образом в Бразилию и Аргентину. По данным Министерства углеводородов и энергетики Боливии, на 01.01.2010 г. запасы природного газа составляли 563,8 млрд м<sup>3</sup>. Правительство Боливии 01.05.2006 г. национализировало газовую промышленность страны. Государственная компания YPFB получила контроль над всеми операциями, связанными с энергетикой. Запасы углеводородов принадлежали 30 иностранным компаниям. Теперь они объявлены собственностью государства, которое стало дополнительно получать в бюджет более 1 млрд долл. США в год от реализации нефти и газа.

Трубопроводный транспорт Боливии находится в собственности национальных компаний YPFB Transporte, Gas Trans Boliviano и Transierra. Общая протяженность газопроводов, расположенных в основном в центральных, южных и западных департаментах, составляет 4 231 км.

С 2005 г. цены на бензин и дизельное топливо являются фиксированными. Попытка правительства увеличить их в декабре 2010 г. не имела успеха. Из-за постоянного роста потребления бензина и дизельного

<sup>1</sup> Gas vehicle Report, January 2012

топлива, а также цен на них в 2011 г. субсидии государства составили около 500 млн долл. США.

Вследствие дефицита моторных топлив правительство Боливии путем различных целевых программ стимулирует перевод машин на газовое моторное топливо. Однако в первую очередь предпосылкой для развития рынка КПГ является разработка месторождений газа и наличие газопроводов.

Оценим эффективность использования природного газа как топлива для автомобилей на примере департамента Чукисака в Боливии.

Сеть газовых заправочных станций в Чукисаке неразвита, количество газобаллонных автомобилей невелико. Транспортные потоки направляются в основном от периферии к центру, вглубь страны, в направлении департаментов Потоси, Оруро, Кочабамба, Тариха и Санта-Крус, где ведется разработка месторождений природного газа и развита сеть газопроводов (рис. 1). Именно

этот фактор и автомобильное сообщение с соседними районами, где развивается автопарк на КПГ, обуславливают предпосылки роста рынка КПГ в Чукисаке.

Автопарк Чукисаки составляет 4 % общей численности ТС Боливии. Тем не менее ежегодный прирост колеблется от 9,6 до 17,6 %, в том числе прирост общественного и государственного транспорта – 4,6...9,7%. Основная доля всего автопарка Чукисаки (98 %) циркулирует в административном центре г. Сукре. Более 60 % автомобилей имеют срок эксплуатации от 12 до 23 лет. Именно эти автомобили чаще всего переоборудуются на газовое топливо.

### Рынок моторных топлив Боливии

С 1950 г. добыча нефти и газа в Боливии постоянно росла и в 2010 г. в сутки составляла около 42 млн м<sup>3</sup> природного газа и 43 тыс. баррелей нефти. Однако нефтегазовая отрасль Боливии не способна полностью

обеспечить свои внутренние потребности в топливе, поэтому вынуждена импортировать дизельное топливо (ДТ), пропан-бутан и, с недавнего времени, еще и бензин. В первом полугодии 2011 г. было завезено топлива на сумму около 497 млн долл. США, что на 48 % больше, чем за аналогичный период предыдущего года.

Спрос на ДТ в Боливии самый высокий среди других видов топлива. На протяжении первого квартала 2011 г. по всей стране продавалось в среднем 21 095 баррелей ДТ в сутки, в основном в департаментах Санта-Крус (38,72 %), Ла-Пас (17,61 %) и Кочабамбе (16,12 %). Доля Чукисаки составляет 3,9 % от общего объема продаж ДТ. В сравнении с первым кварталом 2010 г. реализация ДТ увеличилась на 15 %. Ежегодный рост спроса на бензин составляет 8 %.

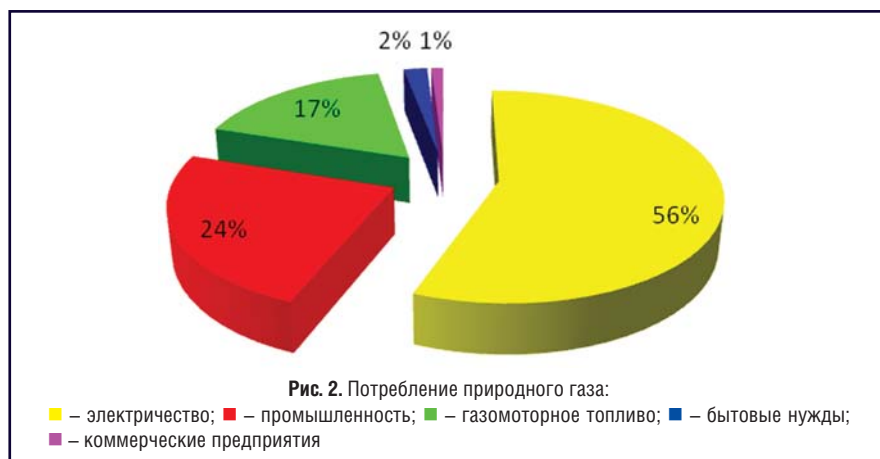
За последние годы динамика рынка КПГ в Боливии показывает удивительный рост. Число транспортных средств (ТС), работающих на газомоторном топливе, в Чукисаке достигло 1910 ед., это 6 % общего парка газобаллонных автомобилей (ГБА) департамента, в Санта-Крус – 57 316 ГБА (20,9 %), в Кочабамбе – 44 618 ГБА (20,9 %).

По данным реестра муниципальной налоговой службы и Национального агентства углеводородов Боливии, на 01.01.2010 г. 15 % автомобильного парка страны работает на газомоторном топливе, из них 40 % – на СУГ. Из числа ТС, использующих ГМТ, 83 % находятся в департаментах Санта-Крус и Кочабамба, 12 % – в г. Эль-Альто, 6 % – в департаментах Чукисака, Оруро и Тариха, 1 % – в столице Боливии Ла-Пасе. Газомоторное топливо в структуре использования природного газа на внутреннем рынке составляло 17 % (рис. 2).

Однако СУГ является продуктом переработки нефти, следовательно, преимущественно импортируется, а



Рис. 1. Национальная сеть газопроводов в Боливии



внутренние цены на него субсидируются государством. В первом квартале 2011 г. средняя цена импортных пропан-бутана составляла 853 долл./т, дизельного топлива – 705...949 долл./т.

### Государственная поддержка использования КПП

В 2009 г. боливийским правительством был принят законопроект (DS 0247 12/08/2009) «О создании фондов для перевода транспортных средств на природный газ», предпосылкой для принятия которого стал декрет от 2003 г. (DS 27297 20/12/2003) «О строительстве АГНКС», регламентирующий перевод машин на газомоторное топливо за счет фондов, специально созданных государством для этих целей. Этот фонд финансируется из прибыли от продажи природного газа на АГНКС в размере 0,03 долл. с каждого проданного 1 м<sup>3</sup> газа, так что за переоборудование автомобиля на природный газ население не должно будет платить. Было решено, что оборудование станет распределяться следующим образом: 65 % комплектов будут приходиться на частный сектор, а распределение остальных 35 % будет согласовываться с Союзом автомобилистов.

Кроме этого, на основании Декрета от 20.10.2010 г. № 675 Национальное агентство углеводородных ресурсов Боливии по наставлению

организации, контролирующей перевод автомобилей на ГМТ, запрещает использование СУГ в качестве автомобильного топлива. Сроки перевода таких автомобилей на КПП истекли 24.02.2010 г., но до сих пор значительное число автомобилей использует СУГ.

Таким образом, принятые меры должны стимулировать массовый перевод автотехники на КПП, способствовать сокращению потребления нефтепродуктов и субсидий государства.

### Экологический аспект использования КПП

В Боливии пока не ведется строгий контроль за соблюдением норм загрязнения окружающей среды автомобильным транспортом, поэтому подробные данные о состоянии атмосферного воздуха отсутствуют. Известно, что в г. Сукре более 70 % выбросов вредных веществ в атмосферу приходится на автотранспортные средства.

Использование КПП в качестве моторного топлива может исключить эту проблему и будет способствовать улучшению экологической ситуации во всей Боливии, так как спрос на дизельное топливо очень высок и Декретом № 27769 разрешен ввоз ДТ невысокого качества. К сожалению, в этом документе ничего не сказано о содержании серы в импортируемом

топливе. Национальные стандарты гласят, что в используемом на внутреннем рынке топливе содержание серы не может превышать 0,2 %, но в дизельном топливе из Венесуэлы содержится более 5 % серы.

### Оборудование и инвестиции

В Боливии в основном используется газотопливное оборудование с баллонами объемом 10 м<sup>3</sup>. Стоимость такого оборудования и его установка в настоящее время колеблется в пределах 600...700 долл. США, для автобусов или грузовых автомобилей большой грузоподъемностью эта цифра достигает 3,5 тыс. долл. Стоимость газовой автотехники заводского исполнения ориентировочно составляет: легковых автомобилей – 28...34 тыс. долл.; грузовых автомобилей и автобусов – 180...350 тыс. долл. США.

Сегодня в Боливии работают 128 АГНКС, из них 27 станций построены аргентинской компанией ASPRO, которая положительно зарекомендовала себя в Боливии. Поставка АГНКС этой компанией наиболее предпочтительна из соображений наименьших расстояний доставки и дружественных экономических отношений с Аргентиной в условиях взаиморасчетов за поставку природного газа.

Стоимость строительства АГНКС торговой марки ASPRO в среднем составляет 320 тыс. долл. США и включает основной комплект оборудования: компрессорную установку, блок осушки, панель управления, газораздаточные колонки, аккумулятор КПП.

### Экономический эффект использования КПП

Перевод автомобиля с бензина на КПП в среднем стоит 640 долл. В г. Сукре один автомобиль в среднем потребляет 4 л бензина в день, стоимость которого составляет 2,12 долл.

Таблица 1

| Топливо | Выручка, долл./день | Объем потребляемого топлива* | Затраты на топливо, долл. | Плата за машину, долл. | Чистая прибыль, долл. |
|---------|---------------------|------------------------------|---------------------------|------------------------|-----------------------|
| Бензин  | 21,43               | 10 л                         | 5,3                       | 8,57                   | 7,56                  |
| КПГ     | 21,43               | 7,7 м <sup>3</sup>           | 1,85                      | 11,43                  | 8,15                  |

Примечание. 1 м<sup>3</sup> КПГ соответствует 1,3 л бензина.

Если такой автомобиль будет работать на КПГ, то его затраты на топливо сократятся до 0,74 долл. в день. За 1 мес. владелец автомобиля сэкономит 34,5 долл. Это значит, что затраты на переоборудование автомобиля окупятся через 18,5 мес.

Автопарк Чукисаки, использующий ДТ, в основном состоит из грузовиков дальнего следования (52,61 %) и автобусов общественного транспорта (24,63 %). Стоимость перевода машин с дизельного топлива на КПГ в среднем составляет 2,6 тыс. долл. Один такой автомобиль в среднем потребляет 16 л ДТ в день на сумму 8,48 долл. Затраты на топливо при работе на КПГ сократятся на 3,68 долл./день. За 1 мес. владелец сэкономит 92 долл., и затраты на переоборудование окупятся в течение 28 мес.

Общественный транспорт в Боливии полностью находится в частной собственности. Создаются малые предприятия, кооперативы, которые имеют небольшое число ТС, выполняющих работу грузового и пассажирского такси. Муниципалитеты регулируют транспортные тарифы, устанавливая фиксированные цены в зависимости от дальности перевозок. Автобусные тарифы в г. Сукре в среднем составляют 0,21, маршрутные такси – 0,26, а такси – 0,57 долл.

Цена перевозок включает расходы на топливо, обслуживание автомобилей и арендную плату за него. Расчет экономического эффекта для частного такси приведен в табл. 1.

Данный расчет справедлив при условии, что таксист является арендатором ТС. Если же таксист – владелец ТС, то прибыль составит ~3,45 долл./день, или 86,25 долл./мес. Муниципалитеты, таким образом, могут не прибегать к повышению тарифов. Чем больше пробег, тем значительней экономия на топливе. Вернув затраченные на оборудование деньги, владелец таксопарка сможет использовать

экономленные средства на приобретение новых ТС либо на социальные нужды для повышения качества жизни служащих.

Междугородные автобусы департамента Чукисака на маршруте Сукре – Кочабамба протяженностью 396 км затрачивают 158,4 л ДТ на сумму 83,95 долл. Одним автобусом, как правило, осуществляется один рейс в день. Если такой автобус переоборудовать на КПГ, то экономия составит 637,5 долл./мес. Затраченные на переоборудование такого автобуса средства окупятся уже через 4 мес. Годовая экономия нефтяного топлива одним маршрутным такси составляет 2,25 т, а одного автобуса – 28,27 т.

### Окупаемость инвестиций в строительство заправочных станций

В г. Сукре действуют пять АГНКС. С учетом тенденций роста численности автомобилей в Боливии, ТС на GMT

и числа АГНКС предполагается увеличить парк автомобилей, использующих КПГ, в 10 раз – до 21 225 ед. Для этой цели потребуется построить дополнительно 16 АГНКС. Сумма инвестиции в строительство составит около 5,12 млн долл. США. Экономическая эффективность инвестиций в строительство АГНКС в Боливии характеризуется следующими показателями: внутренние нормы доходности – 24 %; дисконтированный срок окупаемости – 5,5 лет; дисконтированный доход – 653,7 тыс. долл. США.

### Экономический эффект в целом для страны

Государственная программа перевода автомобилей на КПГ для департамента Чукисака ставит конечной целью перевод 55 % автомобильного парка на этот вид топлива, то есть 19 315 ед. ТС, из них 4 348 – с дизельными двигателями, 14 967 – с бензиновыми.

Таблица 2

| Показатель   | Автомобиль |            |                  |
|--|------------|------------|------------------|
|  | дизельный  | бензиновый | использующий СУГ |
| Число машин, которое предполагается перевести на КПГ | 4 348      | 14 967     | 764              |
| Среднее потребление топлива одним автомобилем        | л/день     | 4          | –                |
|  | кг/день    | –          | 2,5              |
|  | л/год      | 1460       | –                |
|  | кг/год     | –          | 912,5            |
| Объем потребляемого топлива на весь парк             | млн л/год  | 21,9       | –                |
|  | т/год      | –          | 697,2            |
| Цена импортного топлива                              | долл./л    | 0,929      | –                |
|  | долл./кг   | –          | 0,839            |
| Затраты на импорт, тыс. долл./год                    | 21 888,2   | 20 300,3   | 584,9            |

С учетом среднестатистических данных объемы потребления топлива на единицу техники составляют 69,6 тыс. л ДТ и 60,0 тыс. л бензина в день. По данным YPFB, средняя цена импортного ДТ в марте 2011 г. составляла 0,862 долл./л, средняя цена импортного бензина – 0,929 долл./л.

Таким образом, при условии замещения природным газом указанных объемов нефтепродуктов экономия составит 21,6 тыс. т/год ДТ (в денежном эквиваленте – 21,89 млн долл.) и 16,4 тыс. т/год бензина (20,30 млн долл.). В целом для государства ежегодная экономия на импорте нефтяного топлива составит около 42,2 млн долл.

Из 1 910 машин, использующих ГМТ, 764 (40 %) используют СУГ. В Боливии пропан также является продуктом нефтепереработки, предметом импорта и государственных дотаций. Поэтому сегодня в этой стране автомобили, работающие на СУГ, переводят на КПГ. За счет этих мер государство сможет сэкономить дополнительно около 585 тыс. долл. в год (табл. 2).

### Субсидии

На основе приведенных данных можно оценить размер субсидий государства, отпускаемых на покрытие затрат на производство и покупку моторных топлив.

Итак, разницу цен покупки и продажи на внутреннем рынке 1 кг импортного СУГ государство компенсирует из бюджета в размере 0,52 долл., каждый литр ДТ государство дотирует в размере 0,33 долл., а каждый литр бензина – 0,40 долл.

Из приведенных данных следует, что перевод 19 315 ед. ТС на КПГ позволит сэкономить на субсидиях около 17,5 млн долл.

Таким образом, можно кратко подвести итоги.

КПГ является надежным видом топлива, который производится на

основе собственных ресурсов природного газа Боливии, и его использование вносит весомый вклад в обеспечение энергетической безопасности страны.

КПГ – экономически выгодное топливо. Рыночная цена на топливо растёт, увеличивая государственные дотации, в то время как КПГ на 55 % дешевле бензина и дизельного топлива и на 25 % – СУГ.

Государственная программа Боливии ставит своей целью перевод на КПГ более 19 тыс. автомобилей для достижения следующих результатов:

- сокращения объемов импорта нефтепродуктов;
- экономии бюджетных средств;
- развития газозаправочной сети;
- сокращения вредных выбросов от автомобильного транспорта.

Согласно плану развития компании YPFB в течение 6 лет планируется потратить 2 584 млн долл. на импорт нефтепродуктов. Перевод части

автотранспортной техники на КПГ позволит сократить потребление нефтепродуктов на 38,7 млн т/год и сэкономить 42,77 млн долл./год.

Перевод общественного пассажирского транспорта (автобусы, маршрутные такси) на КПГ окупится за 7,5...18,5 мес. Строительство АГНКС имеет привлекательные инвестиционные характеристики, способствует пополнению бюджета субъектов от налогообложения и созданию новых рабочих мест.

В заключение хотелось бы отметить, что даже в таком маленьком и малонаселенном департаменте, как Чукисака, перевод автомобилей на КПГ продвигается, так как экономически и экологически обоснован.

*В статье использованы данные Института государственной статистики Боливии, Национального управления торговлей, Национального управления жидкими углеводородами Боливии, YPFB, Центрального банка Боливии.*

### Справка от 13.08.2012 г. об использовании метана на автотранспорте Боливии

**В** Боливии организация Entity for Natural Gas Vehicles Conversion (EEC-GNV), осуществляющая деятельность по переоборудованию транспортных средств на природный газ, сообщила, что к 10.08.2012 г. 15 163 транспортных средства были переведены на КПГ в Санта-Круссе, Кочабамбе, Ла-Пасе, Сакре и Оуро.

Число переоборудованных автомобилей на природный газ предполагается увеличить на 44,5 %. Ожидаемое число автомобилей, работающих на метане, к декабрю текущего года составит 34 080 ед.

Для переоборудования автомобиля по данной программе водителю общественного транспорта нужно представить в EEC-GNV ксерокопии удостоверения личности и ИНН, а также оплатить счет за воду или электроэнергию. После этого подается заявка в офисы EEC-GNV на переоборудование транспортного средства на природный газ.

**Источник:** [http://www.gnvmagazine.com/eng/noticia-more\\_than\\_15\\_000\\_bolivian\\_vehicles\\_converted\\_to\\_natural\\_gas\\_by\\_august-2695](http://www.gnvmagazine.com/eng/noticia-more_than_15_000_bolivian_vehicles_converted_to_natural_gas_by_august-2695) - GNV Magazine [info@gnvmagazine.com](mailto:info@gnvmagazine.com)

## Развитие рынка газомоторного топлива Белоруссии

**24** августа в рамках рабочей поездки делегации ОАО «Газпром» в Белоруссию состоялась встреча председателя правления Алексея Миллера и первого заместителя премьер-министра республики Владимира Семашко.

Стороны обсудили вопросы развития газового сотрудничества между нашими странами, перспективы развития газотранспортной системы и объектов подземного хранения газа республики, а также ход интеграции ОАО «Белтрансгаз» в Группу «Газпром». Также в ходе встречи были рассмотрены различные варианты схем транзита российского газа через территорию Белоруссии.

Парк газобаллонных автомобилей в этой стране насчитывает около 5 тыс. ед. ОАО «Белтрансгаз» эксплуатирует сеть из 26 стационарных

АГНКС производственной мощностью 9 тыс. заправок в сутки, или 165 млн м<sup>3</sup> КПГ в год. В 2011 г. было реализовано 16,6 млн м<sup>3</sup> сжиженного природного газа.

Цена 1 м<sup>3</sup> КПГ в Белоруссии составляет 2430 белорусских рублей, что в 2,7 раза ниже цены 1 л бензина Аи-92 и втрое ниже цены 1 л дизельного топлива в республике.

Для переоборудования транспорта на газомоторное топливо, ремонта и сервисного обслуживания в ОАО «Белтрансгаз» созданы семь специализированных участков и один пункт по освидетельствованию баллонов.

На встрече было отмечено, что Газпром поставил перед собой задачу значительно расширить использование газомоторного топлива на транспорте. Применение газа в качестве моторного топлива имеет

огромное значение для компании, поскольку обладает целым рядом экологических и экономических преимуществ.

Алексей Миллер и Владимир Семашко подчеркнули, что в связи с этим перед республикой открываются хорошие перспективы для интенсивного развития рынка газомоторного топлива. Перевод транспорта и техники на газ позволит белорусским автовладельцам и производителям получать существенную экономию, так как стоимость ГМТ в республике значительно ниже стоимости бензина и дизельного топлива.

По итогам рабочей встречи был подписан Протокол о намерениях сотрудничества между правительством Белоруссии и ОАО «Газпром» по развитию применения природного газа в качестве моторного топлива.

Управление информации  
ОАО «Газпром»



119071, Россия, г. Москва,  
Ленинский проспект, д. 29,  
офис № 628  
[www.balcity.ru](http://www.balcity.ru)

Телефон: +7 (495) 955 41 95  
Факс: +7 (495) 783 84 92  
E-mail: [balcity@balcity.ru](mailto:balcity@balcity.ru)  
[sales@balcity.ru](mailto: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.

## Модернизированный тяговый расчет автотранспортных средств

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

Представлена модернизированная методика тягового расчета транспортных средств, учитывающая адаптивные свойства тягового двигателя к нагрузке при постоянном передаточном отношении трансмиссии.

**Ключевые слова:** тяговый расчет, модернизированная методика, автотранспортные средства (АТС), адаптивный приводной двигатель.

## The modernized traction calculation of vehicles

**I.K. Alexandrov**

An advanced traction calculation technique of the motor transport facilities taking into account the adaptive properties of traction motor to the load at constant transmission ratio is presented.

**Keywords:** traction calculation, advanced technique, motor transport facilities, adaptive driving motor.

**В** связи с очевидной тенденцией [1] массового применения на современных автотранспортных средствах электрифицированного привода (электромеханические трансмиссии, гибридные силовые установки и т.п.) возникает необходимость в модернизации тягового расчета АТС.

Традиционная методика расчета не учитывает высокую приспособляемость тягового электродвигателя к нагрузке (крутящий момент на валу). Иными словами, механическая характеристика этих электродвигателей в отличие от двигателя внутреннего сгорания (ДВС) обеспечивает автоматическое изменение скоростного режима при изменении в широких пределах условий движения АТС с сохранением заданного мощностного режима на приводном валу. Именно благодаря этой адаптивной способности тяговых электродвигателей исключается потребность в устройствах, изменяющих передаточное отношение трансмиссии (коробка перемены передач, гидромуфта, гидротрансформатор, вариаторы различных конструктивных видов), а это также обуславливает и необходимость корректирования методики тягового расчета.

Предлагаемая модернизированная методика тягового расчета АТС учитывает адаптивные свойства тягового электродвигателя к нагрузке при наличии постоянного выбранного передаточного отношения трансмиссии. Именно такая упрощенная трансмиссия и применяется на АТС, оборудованных адаптивным электроприводом. При этом в целях оптимизации конструктивного решения предполагается выполнять итерационный расчет с использованием программы TRANS\_3 (разработана автором статьи), при котором варьируются параметры электродвигателя и передаточное отношение трансмиссии. Многовариационный расчет позволяет учесть весь параметрический ряд существующих электродвигателей, который значительно шире параметрического ряда ДВС.

При тяговом расчете принятым начальным условием является равномерное движение АТС на подъеме. Тогда суммарное сопротивление движению транспортного средства (сила тяги на ведущих колесах) составит

$$P_K = F_K + F_B + F_i, \quad (1)$$

где  $F_K$  – сопротивление качению, Н;  $F_B$  – сопротивление воздуха, Н;  $F_i$  – сопротивление, возникающее при движении по уклону, Н.

Используем известные зависимости традиционного тягового расчета [2]

$$P_K = m g f + K F v_a^2 + m g \sin \alpha, \quad (2)$$

где  $m$  – масса автомобиля, кг;  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  $f$  – коэффициент сопротивления качению;  $K$  – коэффициент обтекаемости;  $F$  – лобовая площадь автомобиля, м<sup>2</sup>;  $v_a$  – скорость движения автомобиля, м/с;  $\alpha$  – угол продольного уклона участка дороги, градус.

В уравнении (2) делаем допущение, которое заключается в том, что сила сопротивления качению  $F_K$ , строго говоря, должна определяться по выражению

$$F_K = m g f \cos \alpha.$$

В работе [4] на конкретных расчетных примерах показано, что искомая величина  $F_K$  при этом изменяется в пределах 1 %. Таким образом, нет необходимости усложнять методику расчета, если это практически не отражается на конечном результате.

Крутящий момент на ведущих колесах АТС

$$M_K = P_K R_K,$$

где  $R_K$  – радиус качения колеса, м.

Следовательно

$$M_K = m g f R_K + K F v_a^2 R_K + m g \sin \alpha R_K. \quad (3)$$

Известно, что

$$M_K = M U \eta_{тр},$$

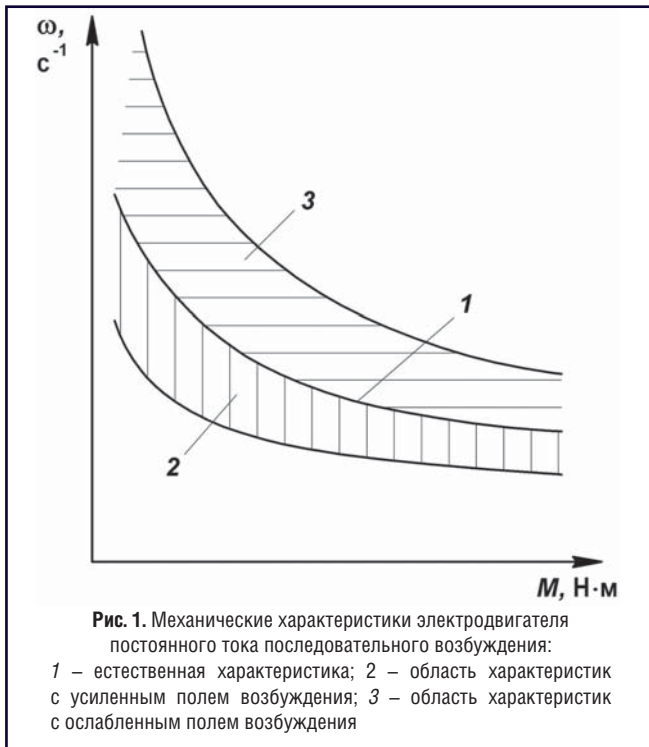
где  $M$  – крутящий момент двигателя, Н·м;  $U$  – передаточное отношение трансмиссии;  $\eta_{тр}$  – КПД трансмиссии.

$$v_a = \omega_K R_K = \omega R_K / U,$$

где  $\omega_K$  – угловая частота вращения ведущих колес, с<sup>-1</sup>;  $\omega$  – угловая частота вращения двигателя, с<sup>-1</sup>.

Перепишем уравнение (3) с учетом приведенных выше зависимостей:

$$M U \eta_{тр} = m g f R_K + K F (\omega R_K / U)^2 R_K + m g \sin \alpha R_K. \quad (4)$$



Решаем уравнение (4) относительно  $\alpha$

$$\sin \alpha = \frac{MU \eta_{тр}}{mg R_K} - f - \frac{KF(\omega R_K / U)^2}{mg}, \quad (5)$$

где  $\alpha = \arcsin \alpha$ .

Уклон можно выразить в процентах:  $i = \operatorname{tg} \alpha \cdot 100$ .

Если по результатам расчета получаем отрицательное значение  $\alpha$ , то движение АТС возможно только под уклон.

Согласно выражению (5) искомая функция зависит от двух переменных:  $\alpha = f(M, \omega)$ . Следовательно, для математического анализа необходимо располагать вторым уравнением, которое устанавливало бы функциональную зависимость между аргументами  $M$  и  $\omega$ . Эта функциональная зависимость существует, и определяется она таким физическим понятием как механическая характеристика привода (рис. 1).

Полученная в результате расчета величина  $\alpha$  уклона поверхности по существу определяет запас или дефицит при отрицательных значениях тяговой силы на ведущих колесах при заданных параметрах  $M$  и  $\omega$  двигателя. Следовательно, если движение осуществляется по горизонтальной поверхности, то установленный в результате расчета запас тяговой силы обеспечит ускоренное движение АТС. При этом ускорение  $J_a$  автомобиля, движущегося по горизонтальной поверхности, определяем из соотношения  $mg \sin \alpha = \delta m J_a$ .

Тогда

$$J_a = g \sin \alpha / \delta, \quad (6)$$

где  $\delta$  – коэффициент, учитывающий влияние сил инерции вращающихся деталей АТС.

Коэффициент  $\delta$  может быть определен согласно [2] по формуле

$$\delta = 1,04 + 0,04 u_k^2, \quad (7)$$

где  $u_k$  – передаточное отношение коробки перемены передач (КПП).

Следовательно, если КПП в трансмиссии отсутствует, что имеет место в рассматриваемом случае, то  $\delta = 1,08$ .

Теперь вернемся к понятию механической характеристики привода.

Многолетний опыт эксплуатации электрифицированных транспортных средств доказал эффективность применения тяговых электродвигателей, механическая характеристика которых имеет вид гиперболы и приближается к характеристике, обеспечивающей режим работы привода с постоянной мощностью. Такой механической характеристикой обладают, например, электродвигатели постоянного тока с последовательным возбуждением.

Как уже отмечалось, регулирование скоростного режима АТС с электроприводом обеспечивается управляемым изменением механической характеристики тягового электродвигателя. Например, на двигателях постоянного тока последовательного возбуждения это можно достичь управляемым изменением поля возбуждения или регулированием напряжения, приложенного к якорной цепи двигателя. При регулировании магнитного потока относительно естественной механической характеристики появляются два семейства характеристик:

- с усиленным полем возбуждения;
- с ослабленным полем возбуждения (см. рис. 1).

Благодаря этому у водителя транспортного средства возникает возможность обеспечить желаемый скоростной и нагрузочный режимы АТС.

Аналогичные зависимости, связывающие электромагнитный момент электрического двигателя с частотой вращения вала, в настоящее время реализуются при применении частотно управляемых электроприводов с асинхронными или вентильными двигателями, а также с вентильно-индукторными двигателями с соответствующей системой управления.

При частоте вращения, существенно меньше номинальной, система управления обеспечивает работу электропривода с постоянным моментом на валу, при дальнейшем увеличении скорости вращения обеспечивается режим движения с постоянной мощностью.

Продемонстрируем применение предлагаемой методики для тягового расчета троллейбуса, выпускаемого





Таблица 1

Силовые параметры привода

| Расчетная точка | Крутящий момент двигателя $M$ , кН•м | Угловая частота вращения двигателя $\omega$ , с <sup>-1</sup> | Мощность двигателя $P$ , кВт | Крутящий момент на ведущих колесах $M_k$ , кН•м |
|-----------------|--------------------------------------|---|------------------------------|---|
| 1               | 341,0                                | 314,16  | 107,1286                     | 3,0131  |
| 2               | 477,3                                | 261,8   | 124,9571                     | 4,2174  |
| 3               | 727,3                                | 209,44  | 152,3257                     | 6,4264  |
| 4               | 1272,7                               | 157,08  | 199,9157                     | 11,2455   |
| 5               | 2000,0                               | 123,92  | 247,8400                     | 17,6719   |
| 6               | 2681,8                               | 104,72  | 280,8381                     | 23,6962   |

Таблица 2

Силы сопротивления при равномерном движении АТС на подъеме (уклон)

| Расчетная точка | Сила сопротивления, кН |               |                 |
|-----------------|------------------------|---------------|-----------------|
|                 | качению $F_k$          | воздуха $F_b$ | от уклона $F_i$ |
| 1               | 3,1255                 | 1,1592        | 1,3472          |
| 2               | 3,1255                 | 0,8050        | 3,9525          |
| 3               | 3,1255                 | 0,5152        | 8,3712          |
| 4               | 3,1255                 | 0,2898        | 17,6043         |
| 5               | 3,1255                 | 0,1804        | 29,7257         |
| 6               | 3,1255                 | 0,1288        | 41,0377         |

Таблица 3

Динамические свойства АТС

| Расчетная точка | Скорость движения АТС $v_a$ , км/ч | Угол подъема $\alpha$ , градус | Преодолеваемый уклон $i$ , % | Ускорение АТС на горизонтальном участке $J$ , м/с <sup>2</sup> |
|-----------------|------------------------------------|--------------------------------|------------------------------|--|
| 1               | 61,635                             | 0,4444                         | 0,7756                       | 0,0704   |
| 2               | 51,363                             | 1,3041                         | 2,2765                       | 0,2067   |
| 3               | 41,090                             | 2,7631                         | 4,8262                       | 0,4379   |
| 4               | 30,818                             | 5,8185                         | 10,1902                      | 0,9208   |
| 5               | 24,312                             | 9,8565                         | 17,3745                      | 1,5549   |
| 6               | 20,545                             | 13,6697                        | 24,3213                      | 2,1466   |

ОАО «Транс-Альфа» (г. Вологда), при использовании на нем тягового электродвигателя ДК211БМ с номинальной мощностью 190 кВт (рис. 2).

Исходные данные: полная масса АТС – 17,7 т; механический КПД трансмиссии – 0,9; передаточное отношение трансмиссии – 9,817; диаметр ведущего колеса – 1,07 м;

коэффициент сопротивления качению – 0,018; лобовая площадь АТС – 6,592 м<sup>2</sup>; коэффициент обтекаемости – 0,6 Н•с<sup>2</sup>/м<sup>4</sup>; коэффициент влияния инерции вращающихся деталей привода – 1,08.

Результаты расчета представлены в табл. 1-3 и на рис. 3.

При анализе динамических свойств АТС с установленным на нем тяговым электродвигателем ДК211БМ приходим к заключению, что с учетом указанных выше возможностей регулирования режимными параметрами номинальная мощность данного двигателя выбрана с определенным запасом, и имеет смысл рассмотреть иные варианты приводного двигателя.

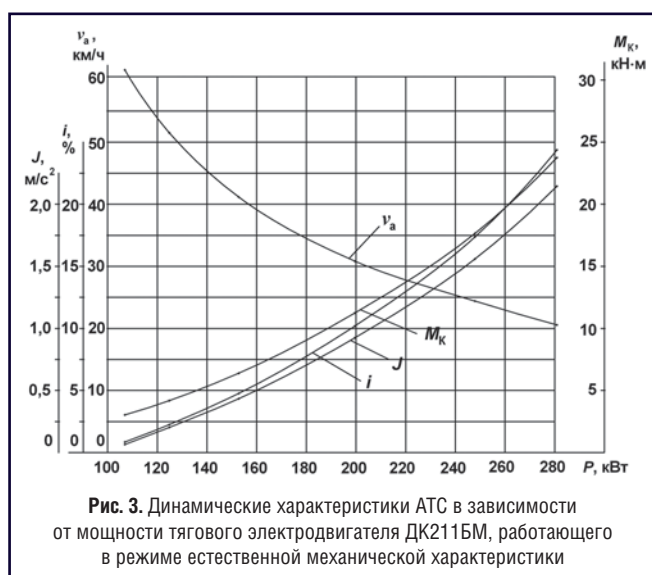


Рис. 3. Динамические характеристики АТС в зависимости от мощности тягового электродвигателя ДК211БМ, работающего в режиме естественной механической характеристики

Литература

- Александров И.К. Перспективы развития транспортных средств с электроприводом / И.К. Александров, В.А. Раков, А.А. Щербакова // Транспорт на альтернативном топливе. – 2011. – № 4. – С. 65-68.
- Краткий автомобильный справочник НИИАТ. – М.: Транспорт, 1985. – 224 с.
- Александров И.К. Энергетический КПД машины с частичной рекуперацией энергии // Вестник машиностроения. – 2007. – № 9. – С. 17-18.
- Александров И.К. Энергетический анализ механизмов и машин. Теоретическое и экспериментальное обоснование принципов исследования и определения энергетических потерь в механизмах и машинах: монография / И.К. Александров. – Вологда: ВоГТУ, 2012. – 244 с.



## Абсолютная шкала тепловых потерь двигателя

**В.В. Московкин,**

профессор Московского государственного университета приборостроения и информатики, д.т.н.,

**М.Н. Гуров,**

зав. лабораторией Московского государственного университета приборостроения и информатики,

**А.С. Шкель,**

преподаватель Московского государственного университета приборостроения и информатики, к.т.н.

Предложены новый параметр для оценки степени совершенства рабочих процессов двигателей и построенная на его основе шкала, аналогичная температурной шкале Кельвина. Показаны преимущества нового параметра перед индикаторным КПД, который используется в настоящее время для аналогичных целей.

**Ключевые слова:** топливный баланс автомобиля, тепловые потери, индикаторный КПД двигателя, сопротивление движению, механическая работа.

## Absolute scale of thermal losses of the engine

**V.V. Moskovkin, M.N. Gurov, A.S. Shkel**

The new parameter for an assessment of degree of perfection of working processes of engines and the scale constructed on its basis similar to a temperature scale of Calvin is offered. Advantages of new parameter before display efficiency which is used now for the similar purposes are shown.

**Keywords:** fuel balance of the car, thermal losses, display efficiency of the engine, resistance to movement, mechanical work.

Для оценки степени совершенства рабочих процессов двигателей авторами предлагается новый параметр, который в отличие от индикаторного КПД характеризует удельный вес тепловых потерь в топливном балансе автомобиля и позволяет определить резервы

повышения его топливной экономичности. Он определяется как отношение тепловых потерь к произведенной механической работе.

В настоящее время для сопоставления и анализа рабочих процессов двигателя используется индикаторный КПД двигателя  $\eta_i$ .

Формулу для его вычисления несложно получить [1]

$$\eta_i = \frac{1}{1 + \Delta},$$

где  $\Delta$  – удельный вес тепловых потерь в топливном балансе автомобиля.

Для оценки преимуществ и недостатков каждого из показателей ( $\eta_i$  и  $\Delta$ ) сопоставим их значения, вычисленные для двигателей различных типов. Для этого была использована компьютерная программа МВК [2], с помощью которой были выбраны семь объектов. Характеристики трех из них получены расчетным путем. Для этого гипотетически на автомобиль Volvo (6x4), топливный баланс которого приведен в [1], вместо дизеля были установлены двигатели трех типов – электрический, двигатель, работающий по циклу Карно, и газотурбинный. Автомобиль Volvo с дизелем проходил испытания в НАМИ, поэтому его характеристики известны.

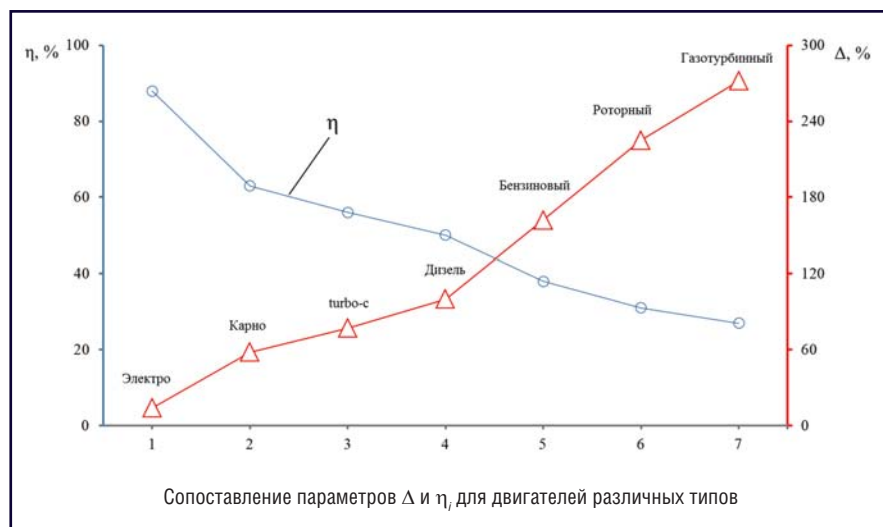
Приведем краткие характеристики этих объектов:

1. Электромобиль Volvo заряжается от сети.

2. На автомобиле Volvo был установлен двигатель, работающий по циклу Карно. Характеристики данного двигателя рассчитаны авторами.

3. На автопоезде Scania установлен турбокомпаундный двигатель – дизель, совмещенный с силовой турбиной.

4. Самый экономичный серийный автомобиль 2012 г. Kia Rio имеет трехцилиндровый дизель с наддувом.



5. Новый отечественный автомобиль «Лада Гранта» оснащен бензиновым двигателем.

6. Автомобиль Mazda RX 8 оснащен роторно-поршневым двигателем (РПД) Ванкеля.

7. На автомобиле Volvo был установлен газотурбинный двигатель, который использовался на экспериментальных образцах Брянского автозавода.

Для всех объектов исследования были вычислены значения  $\Delta$  и  $\eta_i$  при движении данных автомобилей с постоянной скоростью 90 км/ч на горизонтальной дороге (рисунок).

Из данного рисунка следует, что у автомобиля Mazda RX 8 с РПД тепловые потери по сравнению с автомобилем Kia Rio увеличились в 2,25 раза, при этом КПД уменьшился только на 19 %.

Таким образом, индикаторный КПД по сравнению с  $\Delta$  изменяется обратно пропорционально и нелинейно при линейном изменении тепловых потерь – главного и физически понятного параметра, который определяет степень совершенства рабочего процесса

двигателя. В результате был сделан вывод, что индикаторный КПД не удобен для расчетных исследований и практически не пригоден для анализа.

В термодинамике все расчеты выполняются с использованием температурной шкалы Кельвина, которая начинается с нуля и по сути аналогична предлагаемой.

На основе  $\Delta$  можно оценить степень совершенства любого автомобиля и определить резервы повышения его топливной экономичности. Это касается и самого экономичного автомобиля 2012 г. Kia Rio.

При проведении эксперимента с 4937 автомобилями, среди которых были легковые машины, грузовики и автобусы, автомобиль Kia Rio при скорости 90 км/ч занял 304-е место по тепловым потерям среди легковых автомобилей, а также части грузовиков и автобусов, способных развивать данную скорость. В городском цикле EU он занимает 57-е, в скоростном 21-е и в смешанном 18-е места среди 4380 легковых автомобилей, участвовавших во втором эксперименте.

Таким образом, можно провести подробный поэлементный анализ всех автомобилей. Это может показать пути для дальнейшего снижения расхода топлива у рекорсмена на основе уже достигнутого уровня научных разработок.

Сделанные на основе данного анализа выводы имеют высокую достоверность. Это связано с высокой точностью расчетов, выполняемых с помощью МВК. Для проверки корректности математической модели постоянно проводится сопоставление результатов расчетов, полученных с помощью МВК, с экспериментальными данными. Например, для всех легковых автомобилей (4380 ед.), участвовавших в эксперименте, контролируемые расчетные параметры (максимальная скорость, время разгона в заданном диапазоне скоростей, расходы топлива в городском, скоростном и смешанном циклах и т.п.), рассчитанные с помощью МВК, укладываются в пределы естественного разброса данных (в среднем 3...5 %), полученных при натуральных испытаниях.

## Литература

1. **Гуров М.Н., Московкин В.В.** Формула топливного баланса // Транспорт на альтернативном топливе. – 2012. – № 3 (27). – С. 58-61.
2. **Московкин В.В., Парыгин С.П., Вохминов Д.Е.** МВК Программный пакет для комплексных исследований автомобиля // Журнал ААИ. – 2004. – № 1.

## Методы математического моделирования при проектировании автомобиля на стадии НИР

**В.А. Овчинников,**  
генеральный директор ООО «Ладуга», к.т.н.

В работе рассматривается подход к проектированию подсистем автомобиля и автомобиля в целом с использованием системного моделирования для принятия решений на стадиях НИР и НИОКР. Системное моделирование начинает играть большую роль в связи с усложнением взаимодействия модулей автомобиля. Показано применение функциональных моделей на стадии НИР и переход от системного моделирования к моделям на микроуровне на стадии НИОКР.

**Ключевые слова:** математическое моделирование, системное моделирование, функциональное моделирование, метод конечных элементов, многокритериальная оптимизация.

## Mathematical simulation methods of vehicle design in research stage

**V.A. Ovchinnikov**

In article it is researched the approach to the design of subsystems vehicle or the vehicle by using of system simulation for decision-making in reseach stage and R&D stage. System simulation plays now a major role because of complexity of the interaction of the vehicle modules. Shows the use of system models at the stage of research and the transfer from system simulation to the microstructure simulation (finite element methods) in the R&D stage.

**Keywords:** mathematical simulation, system simulation, finite element method, multicriteria optimization.

**В** настоящее время при проектировании автомобиля активно внедряются методы математического моделирования и исследования математических моделей. При этом круг моделируемых задач очень широк: от моделирования случайных процессов и исследования их статистик, моделирования автомобиля

в целом на системном (функциональный) уровне до моделирования поведения автомобиля и его компонент на микроуровне. Важно, что на разных стадиях проектирования могут использоваться различные уровни моделирования систем. В комплексе же математические модели систем автомобиля на разных

уровнях и модели синтеза образуют систему поддержки принятия решений при проектировании автомобиля. Такая система позволяет получать приемлемые варианты конструкции и обоснованно выбирать наилучшие. В данной работе рассматриваются возможности и инструменты математического моделирования на стадии НИР и НИОКР.

Любой автомобиль является сложной системой, в которой взаимодействуют многодисциплинарные подсистемы (рис. 1): кузов, подвеска, двигатель, трансмиссия, шины, электросеть, тормозная система, рулевое управление. Причем в связи с внедрением в последнее время электронных систем, таких как ABS, ESP и т.п., взаимодействие между подсистемами и их влияние на автомобиль в целом сильно усложнились. Поэтому быстрое и качественное исследование совместной работы этих подсистем возможно только с помощью математического моделирования. Соответственно и принятие решений при проектировании подсистем автомобиля также должно выполняться на основании исследований математических моделей.

Каждая такая подсистема является мультидисциплинарной и состоит из различных физических моделей – например, моделей электроники, механики, гидравлики, пневматики, прочности, газовой динамики, акустики, термодинамики, химии. К тому же подсистема сама состоит из компонент, которые также могут иметь представление той или иной физической моделью.

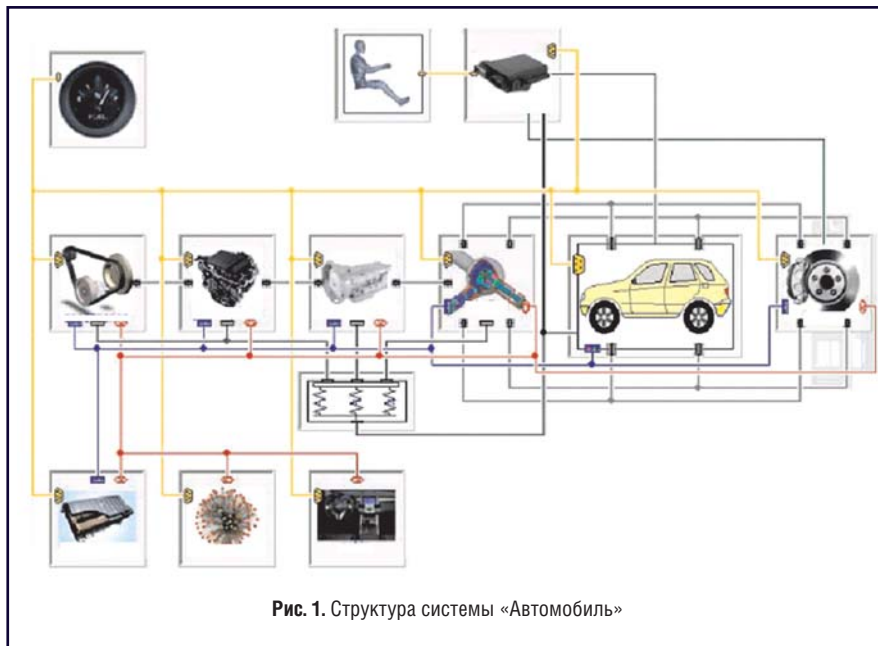


Рис. 1. Структура системы «Автомобиль»

При моделировании конкретного расчетного случая поведения автомобиля или какой-то отдельной подсистемы важно точно моделировать поведение ключевых подсистем, а поведение других можно моделировать приближенно без потери точности. Это достигается с помощью разделения математических моделей на уровни.

На 1-м уровне моделирования функциональная модель неключевой подсистемы представляется в виде черного ящика с заданным поведением. К примеру, рулевое управление можно моделировать в виде передаточной функции, двигатель – как источник момента и т.п. При этом можно исследовать поведение автомобиля или работу важных подсистем, меняя общие параметры черного ящика. На этом же уровне можно моделировать такие характеристики автомобиля как масса или стоимость.

Примеры задач, исследуемых на 1-м уровне моделирования:

- продольная динамика автомобиля;
- вибрации силового агрегата;
- тепловой баланс автомобиля.

На 2-м уровне моделирования подсистема моделируется как набор взаимодействующих компонент. При этом физика описывается более детально, и воспроизводятся тонкие эффекты. Параметрами являются параметры компонент подсистемы. Данный уровень важен как для проектировщиков автомобиля, так и для интегральных поставщиков подсистем.

Примеры задач для 2-го уровня моделирования:

- исследование работы трансмиссии;
- исследование работы подвески;
- электробаланс автомобиля;
- структурный синтез кузова по требованиям NVH.

На 3-м уровне моделируется работа уже самих компонент, например, генератора, аккумулятора, фильтра двигателя, шины и т.д. Этот уровень важен для поставщиков 2-го уровня или для инженера-конструктора на стадии НИОКР. При этом задача поставщика – создание адекватных моделей производимых компонент, предоставление их характеристик, чтобы инженер мог использовать эти данные при проектировании.

Примеры задач для 3-го уровня моделирования:

- работа главного тормозного цилиндра;
- работа гидроусилителя руля;
- работа амортизатора подвески;
- оптимизация формы щитка передка.

При такой классификации моделей можно выделить различные

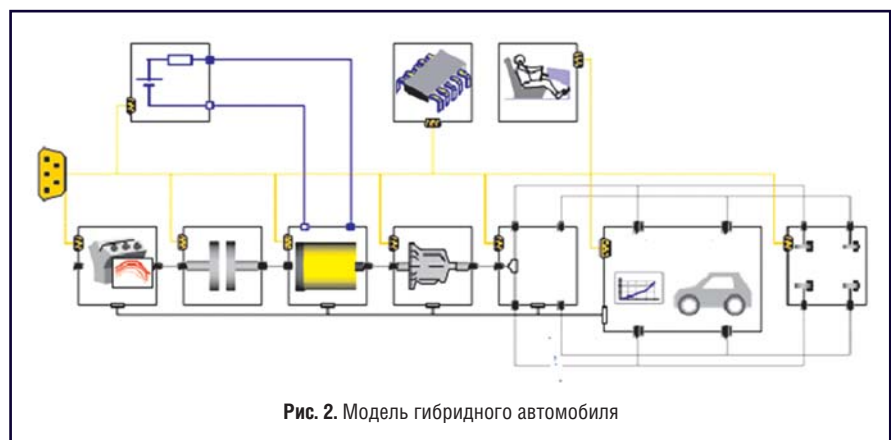


Рис. 2. Модель гибридного автомобиля

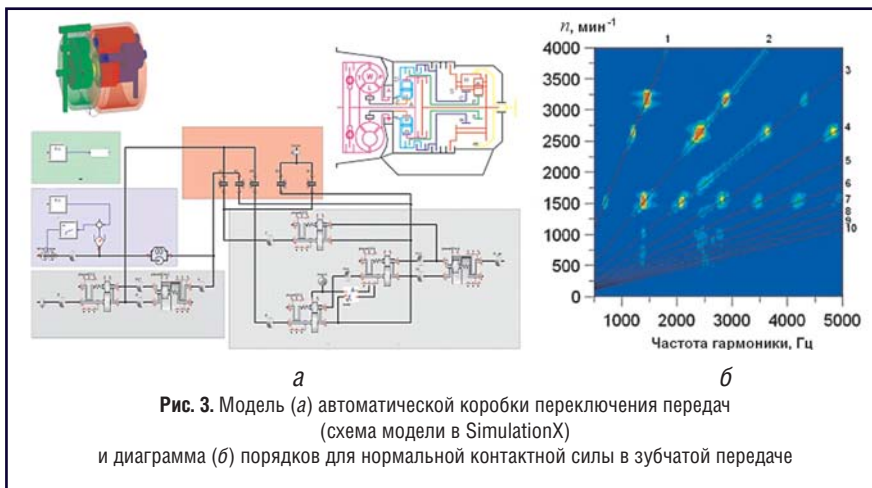


Рис. 3. Модель (а) автоматической коробки переключения передач (схема модели в SimulationX) и диаграмма (б) порядков для нормальной контактной силы в зубчатой передаче

этапы формирования технического задания на проектирование автомобиля.

При исследовании на 1-м уровне моделирования исходными данными является концепция автомобиля (класс, примерная стоимость, масса, мощность силового агрегата и т.д.). Итогом исследования является проработанная концепция и техническое задание на НИР для подсистем.

При исследовании на 2-м уровне моделирования необходимо синтезировать параметры подсистемы, подобрать компо-

ненты таким образом, чтобы ее характеристики соответствовали техническому заданию. Соответственно параметры компонентов, которые удовлетворяют этому условию, будут являться техническими требованиями к данным компонентам. Таким образом, формируется техническое задание на НИОКР компонент.

Рассмотрим инструменты исследования математических моделей. Наиболее активно сейчас используется имитационное математическое моделирование.

Постепенно в работе инженера начинают применяться системы оптимизации: параметрической и топологической. Однако все это инструменты для уровня НИОКР, как правило, с использованием для 3-го уровня моделирования. В то время как на стадии НИР для задач 1-го и 2-го уровней начинают играть роль следующие инструменты:

- статистический, а также регрессионный и ковариационный анализы (учет случайных факторов, исследование брака и допусков, построение статистической модели системы);
- поиск решений на множестве Парето (поиск наилучших решений среди альтернатив);
- дискретная оптимизация (оптимизация модификаций автомобиля);
- кластерный анализ (группировка решений, формирование базового семейства автомобиля);
- нечеткий (Fuzzy) анализ (поведение системы в условиях

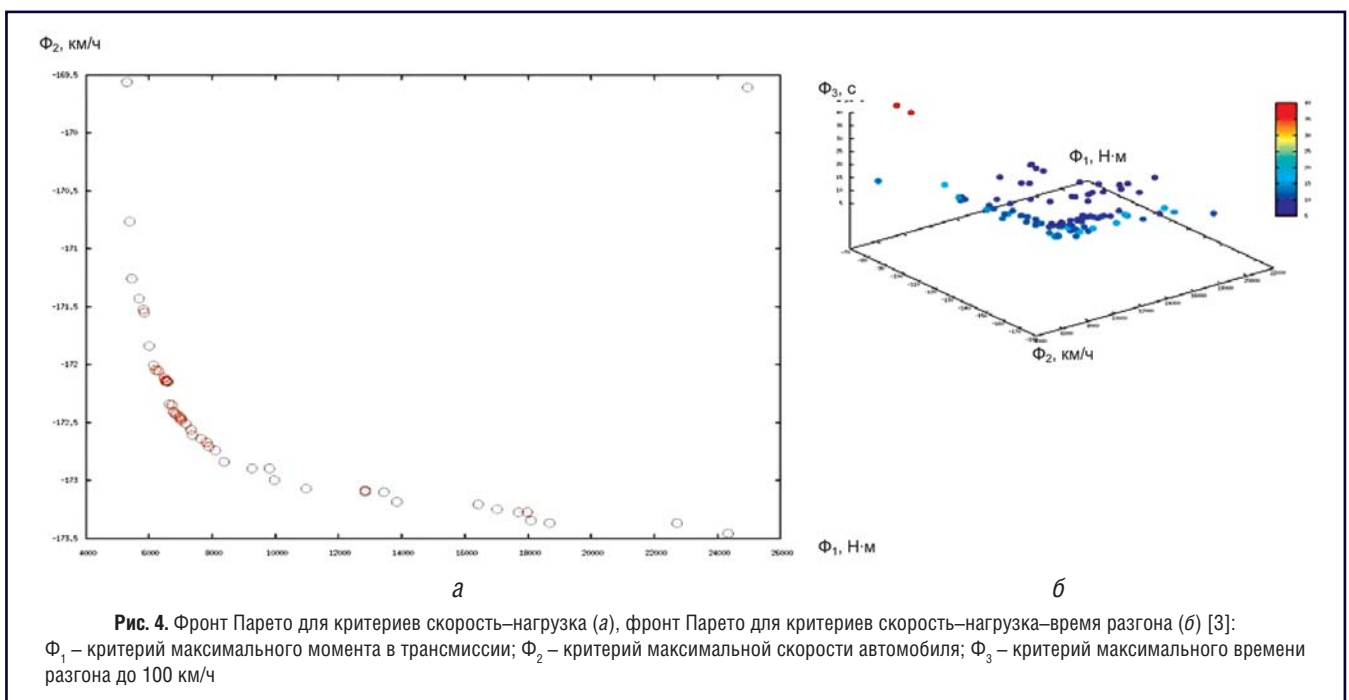


Рис. 4. Фронт Парето для критериев скорость–нагрузка (а), фронт Парето для критериев скорость–нагрузка–время разгона (б) [3]:  $\Phi_1$  – критерий максимального момента в трансмиссии;  $\Phi_2$  – критерий максимальной скорости автомобиля;  $\Phi_3$  – критерий максимального времени разгона до 100 км/ч

неопределенности общих параметров, технологических условий, свойств компонент или подсистем).

Система в целом и каждая из подсистем любого уровня могут быть описаны следующим образом: математической моделью, набором расчетных случаев, набором критериев и ограничений оптимизации, набором правил и эвристик исследования системы. В целом это представляет собой базу знаний, при использовании которой система поддержки принятия решений позволяет генерировать программу исследований и проектирования, оценивать систему в целом, давать рекомендации по выбору альтернатив на стадии НИР.

Рассмотрим работу описанной концепции на примерах.

## Моделирование гибридного автомобиля

Систему «Автомобиль» можно показать на примере модели гибридного автомобиля [1]. Модель разработана с использованием

библиотек на языке моделирования Modelica [2] и может моделироваться в таких системах как PRADIS, SimulationX, Modelica и др., поддерживающих стандарт языка Modelica 3.0 и выше.

В состав модели (рис. 2) входят ключевые подсистемы автомобиля и специально разработанные для гибрида (система управления, топливные элементы, электродвигатель). Здесь ключевыми подсистемами анализа является система управления и электрическая сеть. Остальные же подсистемы представлены как модели 1-го уровня. Моделируется работа электрической сети при движении автомобиля в различных режимах. Результатом моделирования являются такие переменные как заряд аккумулятора во время движения, нагрузки в электросети, циклограммы работы управляющих систем и т.д.

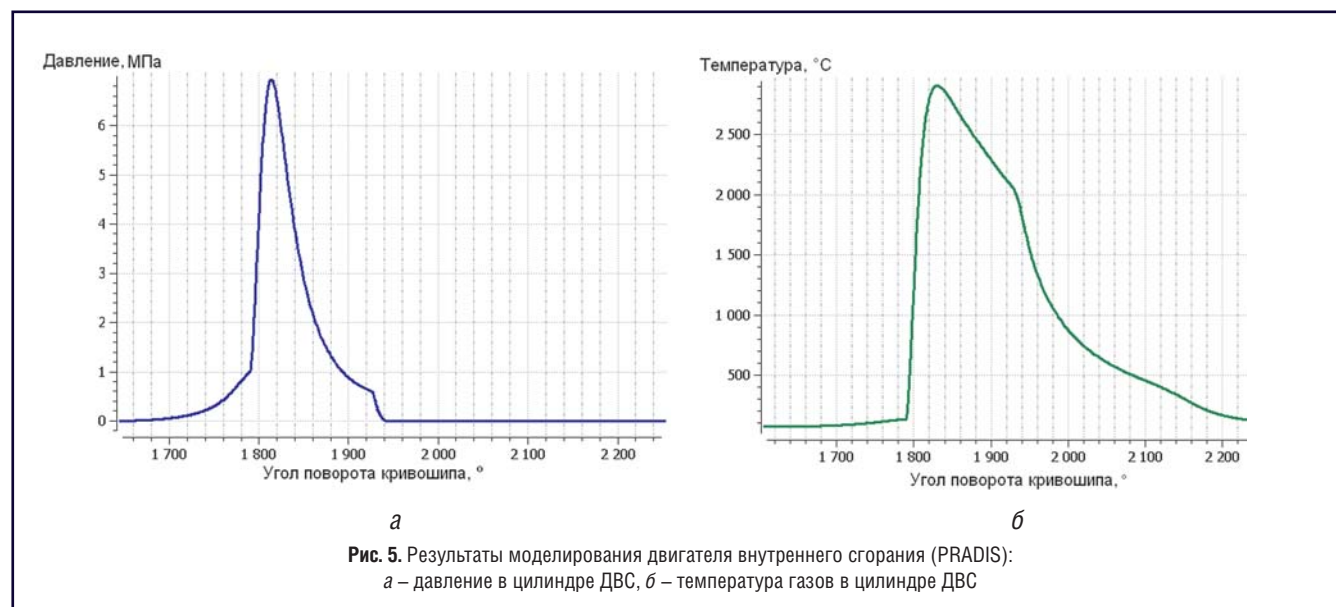
## Моделирование коробки переключения передач (КПП)

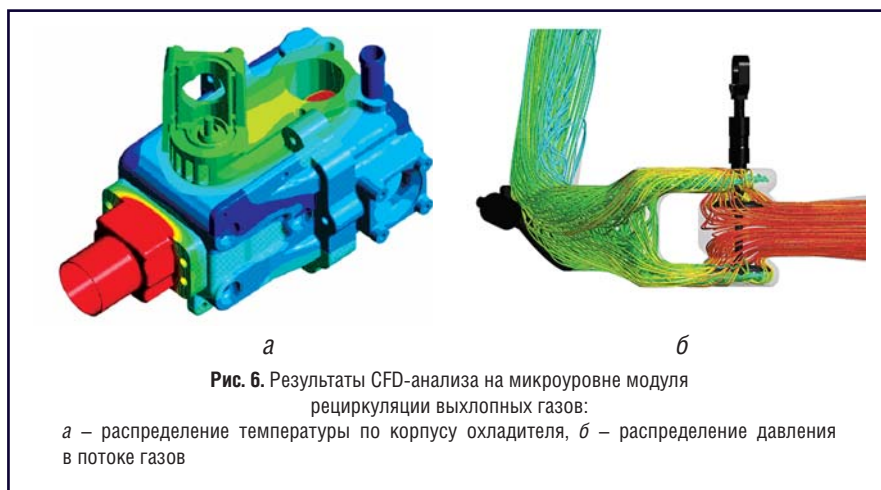
Ключевыми элементами модели КПП (рис. 3) являются: зубчатое зацепление, синхронизатор,

тросики управления, валы, различные модели сцеплений. При моделировании на 1-м уровне модель КПП характеризуется такими параметрами как число ступеней, передаточное число ступени, КПД ступени, жесткость передачи, инерция передачи. При моделировании на 2-м уровне модели элементов должны максимально точно воспроизводить различные эффекты, например, силы трения, «трещетку» зубьев при неполном зацеплении, инерцию и упругость валов и шестерен.

Такая модель позволяет оптимизировать конструкцию по потреблению топлива, улучшению комфорта переключения передач и динамики, передаче момента, уменьшению шумов.

Рассмотрим проблему подбора передаточных чисел КПП, возникающую при исследовании трансмиссии на 1-м уровне моделирования. Критериями подбора могут быть такие характеристики, как топливная экономичность, скорость разгона автомобиля и его эластичность, нагрузки в трансмиссии,





максимальная скорость, экономичность и др. В целом данная задача является многокритериальной проблемой оптимизации. Соответственно задачу можно решать непосредственно как задачу многокритериальной оптимизации, но иногда бывает полезно рассмотреть целое множество оптимальных решений, которые не хуже друг друга. Таким свойством обладают решения, лежащие во множестве Парето (рис. 4). Для поиска множества Парето может быть использован один из инструментов многовариантного анализа (например, PRADIS/Multi).

Каждое из этих решений является оптимальным с точки зрения указанных критериев. И далее уже конструктор может выбрать приемлемое решение с учетом различных слабоформализуемых факторов (наличие, компоновка, предполагаемая стоимость и т.п.).

### Моделирование двигателя внутреннего сгорания и его элементов

Рассмотрим на примере двигателя внутреннего сгорания переход от функционального

моделирования на стадии НИР к моделированию на микроуровне на стадии НИОКР (рис. 5).

Модель описывает механические, термодинамические, газодинамические процессы и состоит из следующих подсистем: механической, впуска-выпуска, камеры сгорания, рециркуляции газов (EGR), охлаждения. С помощью данной модели решалась проблема повышения экологичности ДВС. В ходе оптимизации на стадии НИР получены целевые параметры системы рециркуляции газов для стадии НИОКР, а именно – требования по падениям давлений, требования по температурам, данные по потокам газа и жидкости.

С помощью конструктивных решений (оптимизация каналов охлаждающей жидкости и выхлопных газов, а также формы корпуса) были достигнуты целевые значения параметров с учетом ограничений по массе и технологичности (рис. 6).

При этом конечноэлементная модель состояла из 50 млн элементов, решалась совместная тепловая задача, задача течения выхлопных газов и охлаждающей жидкости. Для сравнения, размерность функциональной модели всего двигателя насчитывает около 100 степеней свободы.

Таким образом, применение системного моделирования для принятия решений при проектировании автомобиля начинает играть большую роль в связи с усложнением взаимодействия модулей автомобиля. Применение функциональных моделей на стадии НИР и переход от функциональных моделей к моделям на микроуровне на стадии НИОКР позволяют обоснованно выбрать оптимальную конструкцию из множества вариантов.

## Литература

1. Simic D., Bäuml T. Implementation of Hybrid Electric Vehicles using the Vehicle Interfaces and the SmartElectricDrives Libraries. – Proceedings of the 2009 Ground Vehicle Systems Engineering and Technology Symposium.
2. Fritzson P. Introduction to Modeling and Simulation of Technical and Physical Systems with Modelica. – ISBN: 978-1-1180-1068-6, 232 pp.
3. Карпенко А.П., Овчинников В.А., Семенихин А.С. Распределенная программная система для построения множества Парето в задаче многокритериальной оптимизации динамических систем с использованием параллельного генетического алгоритма. – Наука и образование. – 2008. – № 7. – С. 11-16.



# Оценка фрикционных потерь в трансмиссии грузовых автомобилей

Окончание. Начало в № 4 (28) 2012 г.

**И.К. Александров,**

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

В статье представлен энергетический анализ трансмиссий грузовых автомобилей с несколькими ведущими мостами на основе нового методологического подхода к оценке фрикционных потерь в сложных кинематических цепях.

**Ключевые слова:** энергетический расчет, фрикционные потери, многосвязные кинематические цепи, трансмиссии транспортных средств.

## Evaluation of frictional losses in the transmission of trucks

**I.K. Alexandrov**

This paper presents an energy analysis of transmissions of trucks with several leading axis on the basis of a new methodological approach to estimate the frictional losses in the complex kinematic chains.

**Keywords:** energy calculation, friction loss, ladder-type kinematic chains, transmissions of hauling units.

Продолжим рассмотрение нового подхода к энергетической оценке механизмов и машин. В результате исследований, представленных в работе [13], установлено следующее:

- увеличение числа ведущих осей приводит к существенному росту момента холостого хода  $M_{xx}$  (для автомобилей с тремя ведущими мостами потери на холостой ход трансмиссии увеличиваются практически на порядок по сравнению с потерями на прокручивание трансмиссии базового автомобиля с одной ведущей осью);
- существенное уменьшение КПД передачи при значительном увеличении передаточного отношения (удлинение) трансмиссии, которое осуществляется для снижения нагрузки на приводной двигатель с повышенным частотным режимом и дефицитом по крутящему моменту;

- снижение нагрузочного режима в ветвях кинематической цепи (КЦ) в результате разделения потока мощности.

Рассмотрим влияние последнего фактора, как наиболее существенного, подробнее. Нагляднее всего это видно при сопоставлении автомобильных трансмиссий, для которых можно допустить условие идентичности потоков мощности, передаваемых к ведущим мостам. В этом случае определить КПД можно на основании одной КЦ, то есть по потоку мощности, передаваемой от любого ведущего моста к двигателю. Тогда общий КПД для всей трансмиссии будет аналогичен рассчитанному для одной КЦ. На основании этого допущения перепишем формулу для вычисления КПД неразветвленной КЦ [13] применительно к расчету одной кинематической ветви

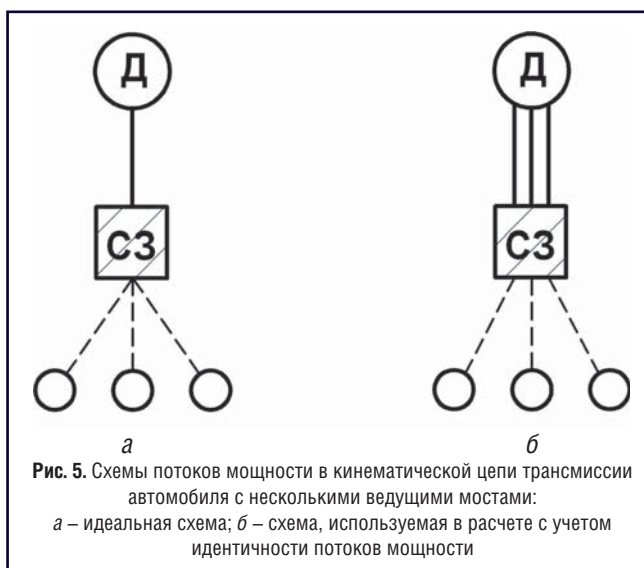
$$\eta = \eta_{\Sigma} \left(1 - \frac{M_{xx}}{M_{д1}}\right), \quad (8)$$

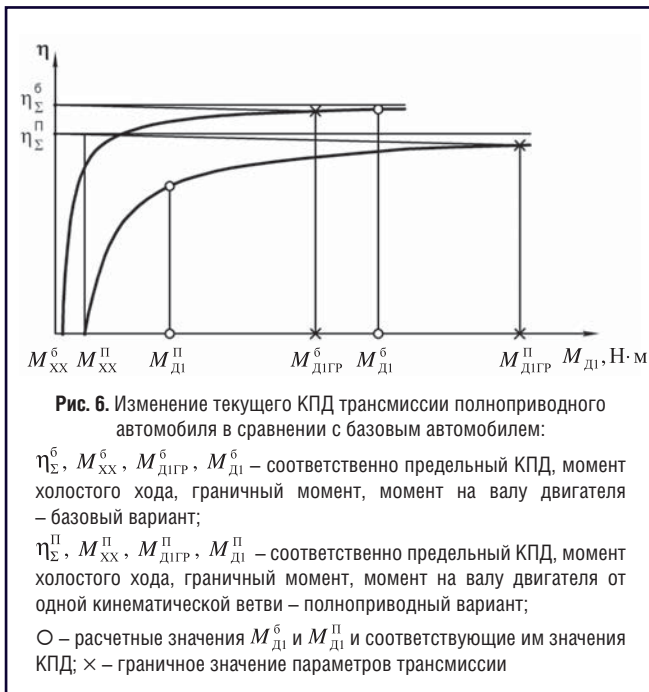
где  $M_{д1}$  – момент на валу двигателя от одной кинематической ветви (один ведущий мост), Н·м.

При использовании универсальной формулы (8) происходит некоторое отступление от идеальной методики расчета, не допускающей независимого прохождения потока через СЗ (рис. 5), но эта некорректность компенсируется идентичностью потоков мощности, а также тем, что  $M_{xx}$  в формуле (8) определен сложением потерь холостого хода от всех параллельных потоков мощности.

С учетом отмеченных выше трех негативных факторов можно вполне уверенно прогнозировать принципиальное уменьшение КПД трансмиссии (рис. 6) полноприводного автомобиля по сравнению с базовым вариантом (автомобиль с одной ведущей осью) по следующим причинам:

- многократное увеличение  $M_{xx}$  приводит к тому, что гиперболическая функция  $\eta = f(M_{д1})$  становится более пологой, увеличивается область нестабильных значений КПД, а граничный момент возрастает;





- удлинение КЦ (увеличение передаточного отношения ввиду дефицита крутящего момента на базовом двигателе) понижает суммарный предельный КПД трансмиссии полноприводной модели;

- наконец, самый главный негативный фактор – снижение крутящего момента в ветви КЦ, обратно пропорциональное числу ведущих мостов (число потоков мощности), вызывает согласно зависимости (8) резкое снижение текущего КПД (КПД трансмиссии непременно попадает в область пониженных нестабильных значений).

Вполне корректное допущение, что КПД одной идентичной ветви характеризует также и КПД всей разветвленной КЦ и может быть рассчитан по универсальной формуле (8), где  $M_{XX}$  определяется с учетом передаточного отношения  $U$  по экспериментальной  $\alpha$ - $\beta$ -характеристике, что многократно ускоряет процедуру расчета.

В соответствии с принятой схемой (см. рис. 5б) энергетического расчета трансмиссии потребная мощность  $N_{д}$  двигателя будет определена из соотношения

$$N_{д} = N_{к} / \eta_{об} \cong \frac{J M_{к1} \omega_{к}}{1000 \eta}$$

где  $N_{к}$  – колесная мощность автомобиля, кВт;  $\eta_{об}$  – общий КПД трансмиссии в соответствии с идеальной схемой (см. рис. 5а) расчета;  $J$  – число ведущих осей;  $M_{к1}$  – крутящий момент на одной ведущей оси автомобиля, Н·м;  $\omega_{к}$  – частота вращения колес автомобиля, с<sup>-1</sup>;  $\eta$  – текущий КПД, определяемый в соответствии с принятой схемой (см. рис. 5б) расчета по формуле (8) с учетом  $\alpha$ - $\beta$ -характеристики трансмиссии.

На основании формулы

$$M_{к1} = M_{д1} U \eta = M_{д1} \frac{\omega_{д}}{\omega_{к}} \eta,$$

получаем расчетное выражение для определения мощности двигателя в другом виде

$$N_{д} \cong \frac{J M_{д1} \omega_{д}}{1000},$$

где  $M_{д1}$  – момент на валу двигателя от одной кинематической ветви, Н·м;  $\omega_{д}$  – частота вращения двигателя, с<sup>-1</sup>.

Чтобы установить режимные параметры двигателя на основе представленных зависимостей, необходимо выполнить тяговый расчет автомобиля. Для этого используют известную [14] зависимость

$$P_{к} = 9,81 f G_{а} + \frac{K F v_{а}^2}{3,6^2}, \quad (9)$$

где  $P_{к}$  – сила тяги на ведущих колесах, Н;  $f=0,015...0,035$  – коэффициент сопротивления качению;  $G_{а}$  – масса автомобиля, кг;  $K=0,6...0,8$  – коэффициент обтекаемости для грузовых автомобилей, Н·с<sup>2</sup>/м<sup>4</sup>;  $F$  – лобовая площадь автомобиля, м<sup>2</sup>;  $v_{а}$  – скорость автомобиля, км/ч.

Расчет выполняют для наиболее характерных условий – установившегося движения автомобиля на горизонтальном участке дороги. При этом скорость автомобиля на различных передачах выбирают исходя из частоты вращения двигателя, близкой к максимальной.

В соответствии с принятой схемой расчета КЦ определяем тяговый момент на одной ведущей оси автомобиля

$$M_{к1} = (P_{к} R_{к}) / J,$$

где  $R_{к}$  – радиус качения колеса, м.

Расчет выполняется на ПЭВМ с использованием программы TRANS2, разработанной в ВоГТУ [15] для двух вариантов движения автомобиля: вариант А – без груза по асфальтобетонному покрытию; вариант G – с полной нагрузкой по грунтовой дороге.

Особо следует оговорить энергетические требования к пониженным передачам. Эти передачи (прежде всего первая и вторая) в основном используют при разгоне автомобиля. Нет необходимости на основании расчета для установившегося движения выводить нагрузочный режим на этих передачах за пределы граничных значений. Поскольку инерционные силы сопротивления движению при разгоне на этих передачах многократно превышают силы сопротивления качению колес и воздушной среды, то существует значительная степень вероятности того, что граничный нагрузочный предел в условиях разгона будет достигнут. Однако рекомендуется все же провести проверочный расчет для указанных передач с использованием зависимости [14]

$$P_{к} = 9,81 G_{а} (f + \delta j_{а} / g) + \frac{K F v_{а}^2}{3,6^2},$$

где  $j_{а}$  – ускорение автомобиля, м/с<sup>2</sup>;  $\delta$  – коэффициент, учитывающий влияние инерции вращающихся деталей автомобиля.

Представленный новый принцип расчета тягового автомобиля с несколькими ведущими осями на основе зависимости (8), учитывающей нагрузочный режим на двигателе

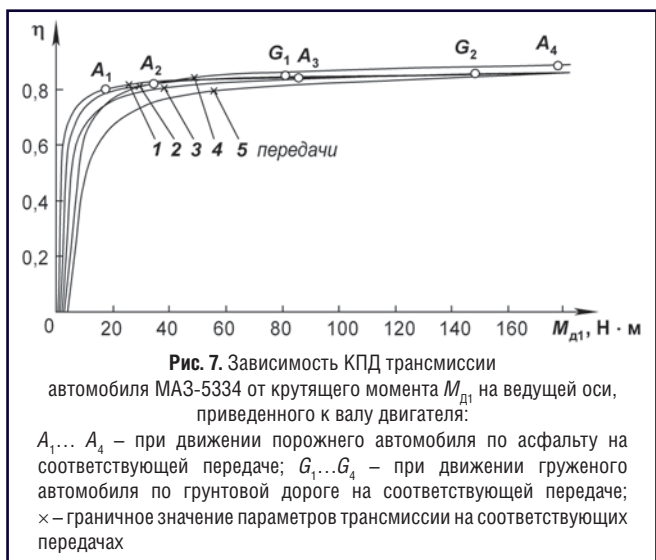
и  $\alpha$ - $\beta$ -характеристику трансмиссии, выполняется на ЭВМ с использованием программы TRANS2 [15].

Рассмотрим результаты энергетического анализа трансмиссии автомобиля МАЗ-5334 (рис. 7), выполненного по представленной методике с использованием программ TRANS1 и TRANS2. Как и следовало ожидать, минимальные механические потери обеспечиваются при работе трансмиссии на четвертой (прямая) передаче, когда зубчатые колеса промежуточного вала коробки передач не участвуют в передаче крутящего момента. Из графиков следует, что практически на всех передачах трансмиссия автомобиля МАЗ-5334 работает в нагрузочных режимах, превышающих граничные значения. Исключение составляет только первая передача, где при расчетном варианте  $A_1$  имеется незначительный выход в дограничный нагрузочный режим.

Таким образом, можно сделать вывод, что для автомобилей с одной ведущей осью, представителем которых является МАЗ-5334, вполне допустим энергетический расчет по традиционной методике без учета влияния на КПД момента холостого хода, поскольку нагрузочный режим трансмиссий этих автомобилей обеспечивает надежное попадание в область стабильных КПД.

Эффективность предложенной методики, учитывающей влияние  $\alpha$ - $\beta$ -характеристики на КПД, реализуется при энергетическом анализе автомобилей с несколькими ведущими мостами: КАМАЗ-5320 (два ведущих моста) и ЗИЛ-157КД (три ведущих моста). Результаты исследований этих автомобилей представлены в табл. 2.

Из проведенного анализа трансмиссии КАМАЗ-5320 следует, что в энергетическом отношении в целом ее можно считать относительно благополучной. На четвертой и пятой передачах, на которых в основном осуществляется транспортный процесс, граничные нагрузочные режимы



преодолеваются. Однако в сравнении с автомобилем с одной ведущей осью данная трансмиссия имеет существенно худшие показатели, и есть определенные перспективы для ее модернизации. В частности, если попадание в дограничные нагрузочные режимы на первой и второй передачах по соображениям, указанным выше, можно считать допустимым, то для третьей передачи это уже неприемлемо. Отмечается также ощутимое падение предельных КПД трансмиссии, которое вызвано удлинением и конструктивным усложнением КЦ.

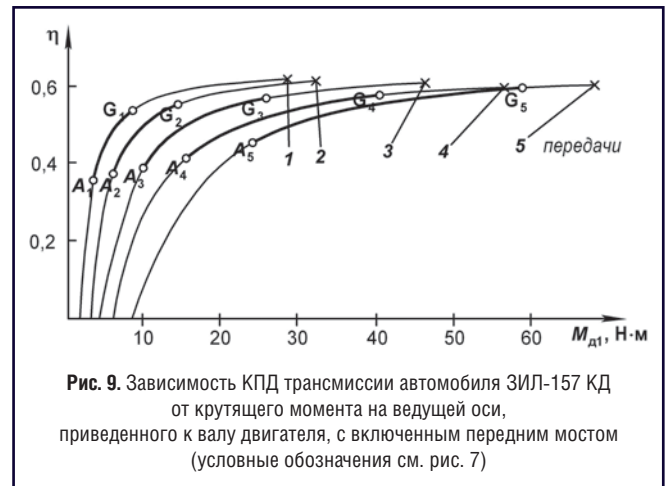
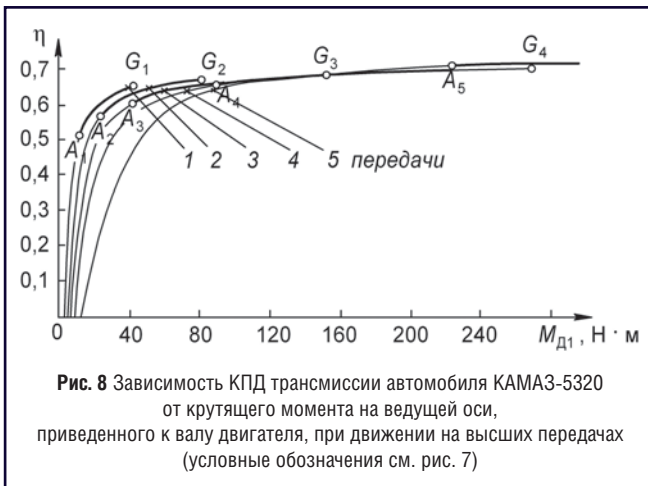
Трансмиссия трехосного автомобиля ЗИЛ-157КД является характерным примером крайне нерациональной в энергетическом отношении разветвленной КЦ (табл. 3 и рис. 9). Практически на всех передачах она работает в дограничных нагрузочных режимах. Граничный режим преодолевается, причем не полностью ввиду недостаточной мощности двигателя, на пятой передаче с выключенным передним мостом.

Таблица 2

**Энергетические характеристики трансмиссии КАМАЗ-5320 на высших передачах**

| Передача | Общее передаточное отношение трансмиссии $U$ | Скорость автомобиля $V_a$ , км/ч | Частота вращения двигателя $\omega_{д1}$ , $\text{с}^{-1}$ (мин $^{-1}$ ) | Момент холостого хода трансмиссии $M_{хх}$ , Н·м | Момент на валу двигателя от одной ведущей оси $M_{д1}$ , Н·м |       | Потребная мощность двигателя $N_{д1}$ , кВт |       | Граничное значение КПД трансмиссии $\eta_{г}$ | Текущее значение КПД трансмиссии $\eta$ |       |
|----------|--|----------------------------------|---|--|--|-------|---|-------|---|---|-------|
|          |  |                                  |   |  | A  | G     | A   | G     |   | A                                       | G     |
| 1        | 41,66  | 11,0                             | 260,9 (2491)  | 2,98   | 12,0   | 47,2  | 6,3   | 24,6  | 0,650   | 0,527                                   | 0,657 |
| 2        | 21,48  | 21,5                             | 262,9 (2511)  | 4,37   | 23,5   | 90,8  | 12,4  | 47,8  | 0,648   | 0,578                                   | 0,676 |
| 3        | 13,32  | 34,5                             | 261,6 (2498)  | 6,12   | 43,2   | 151,2 | 22,6  | 79,1  | 0,640   | 0,613                                   | 0,685 |
| 4        | 8,16   | 56,5                             | 262,5 (2507)  | 9,03   | 96,0   | 268,6 | 50,4  | 141,1 | 0,638   | 0,660                                   | 0,704 |
| 5        | 5,32   | 86,5                             | 262,0 (2502)  | 13,04  | 229,9  | 485,2 | 120,5                                       | 254,3 | 0,645   | 0,713                                   | 0,735 |

Примечание. Вариант А, где  $f = 0,015$ , и вариант G, где  $f = 0,035$ .



Очевидно, что этот автомобиль нуждается в более мощном (или, по крайней мере, в более тихоходном, но равной мощности) двигателе с повышенным крутящим моментом. Запас крутящего момента на двигателе позволил бы укоротить КЦ (уменьшить общее передаточное отношение на всех передачах) и в соответствии с  $\alpha$ - $\beta$ -характеристикой вывести параметры трансмиссии за пределы граничных нагрузочных режимов. Другой путь – конструктивное совершенствование элементной базы трансмиссии в целях снижения механических потерь, то есть улучшение самой  $\alpha$ - $\beta$ -характеристики. Возможно также на основе существующей элементной базы увеличить нагрузку на ведущие оси повышением грузоподъемности автомобиля (или за счет использования прицепного состава), что опять же потребует повышения мощности двигателя, в первую очередь, за счет увеличения крутящего момента.

В результате проведенных исследований приходим к выводу о необходимости применения на полноприводных автомобилях специальных (дефорсированные) ДВС со

значительным крутящим (эффективный) моментом и пониженным скоростным режимом. Для полноприводных автомобилей использование двигателей базовой модели (одна ведущая ось) за счет увеличения передаточного отношения трансмиссии на основе существующей элементной базы абсолютно бесперспективно. Разделение потока мощности, имеющее место в многоосных автомобилях, как раз требует более коротких, а не удлиненных КЦ, которые могут быть выведены за пределы граничного нагрузочного режима. В связи с этим применение дизельных двигателей предпочтительно в сравнении с бензиновыми ДВС.

На примере трансмиссий полноприводных автомобилей убеждаемся в том, что использование разветвленных механических передач с позиции энергетических и конструктивных (см. ниже) показателей крайне нерационально. Расчеты, выполненные с использованием программы KPD8C, показали, что фрикционные потери в разветвленной механической передаче растут в геометрической прогрессии с увеличением уровня СЗ. Например, если после разделения

Таблица 3

**Энергетические характеристики трансмиссии ЗИЛ-157КД с включенным передним мостом**

| Передача | Общее передаточное число трансмиссии $U$ | Скорость автомобиля $V_a$ км/ч | Частота вращения вала двигателя $\omega_{дв}$ с <sup>-1</sup> (мин <sup>-1</sup> ) | Момент холостого хода трансмиссии $M_{хх}$ Н·м | Момент на валу двигателя от одной ведущей оси $M_{д1}$ Н·м |      | Потребная мощность двигателя $N_{дт}$ кВт |      | Граничное значение КПД трансмиссии $\eta_T$ | Текущее значение КПД трансмиссии $\eta$ |       |
|----------|--|--------------------------------|--|--|--|------|---|------|---|---|-------|
|          |  |                                |  |  | A  | G    | A   | G    |   | A                                       | G     |
| 1        | 112,57                                   | 4,2                            | 262,9 (2510)   | 1,434  | 3,3  | 8,1  | 2,6                                       | 6,4  | 0,626                                       | 0,370                                   | 0,543 |
| 2        | 62,08                                    | 7,6                            | 262,1 (2524)   | 2,273  | 5,6  | 14,3 | 4,4                                       | 11,2 | 0,625                                       | 0,397                                   | 0,562 |
| 3        | 34,67                                    | 13,6                           | 261,9 (2538)   | 3,750  | 9,9  | 25,4 | 7,8                                       | 20,0 | 0,615                                       | 0,416                                   | 0,572 |
| 4        | 22,26                                    | 21,2                           | 262,2 (2533)   | 5,614  | 15,8   | 39,9 | 12,4                                      | 31,4 | 0,604                                       | 0,434                                   | 0,578 |
| 5        | 15,14                                    | 31,4                           | 261,7 (2464)   | 8,064  | 24,3   | 58,5 | 19,1                                      | 46,0 | 0,614                                       | 0,466                                   | 0,601 |

Примечание. Вариант А, где  $f = 0,015$ , и вариант G, где  $f = 0,035$ .

потоков на первом уровне КПД трансмиссии составляет около 0,5, то соответственно на втором уровне эта величина всего лишь 0,25, а на третьем – не более 0,1...0,12.

При существующем уровне технического развития гидро- и электроприводов разветвленные механические трансмиссии следует рассматривать как ничем не оправданный анахронизм, особенно для машин серийного производства, так как это приводит к огромным потерям энергетических ресурсов. Последователи традиционных механических передач называют ряд негативных, по их мнению, качеств сервоприводов. В частности, достаточно распространенными доводами отрицательного отношения к использованию мотор-колес на полноприводном ТС являются:

- двойное преобразование энергии, которое, якобы, снижает общий механический КПД машины;
- отсутствие дифференциала, обеспечивающего пропорциональное изменение частоты вращения внешнего и внутреннего колес при повороте ТС, то есть ухудшение его маневренности;
- отсутствие блокировки (выключение дифференциала) колес ведущего моста при буксовании, то есть ухудшение проходимости ТС.

Первый довод в определенной степени опровергает данная статья. Как было показано, механические потери автомобиля с тремя ведущими мостами составляют 35...60 %, в то время как в современных системах на преобразование механической энергии в электрическую и наоборот суммарно расходуется не более 20 %, и эти потери не зависят от числа ведущих осей. Даже гидродинамические передачи с КПД, равным 70 %, при разделении потоков энергии становятся более эффективными, чем разветвленные КЦ.

Максимальный энергетический эффект достигается за счет электрифицированного гибридного привода. Это является, во-первых, результатом применения систем рекуперации энергии торможения в электрический накопитель энергии (по экспериментальным исследованиям, проведенным в ВоГТУ, возврат энергии в накопитель составляет 30...40 % от энергии, потребляемой ТС при движении его в условиях города). Во-вторых, используя адаптивные возможности электромеханической трансмиссии [16], можно вывести ДВС на режим внешней скоростной характеристики при стационарном характере нагрузки, где удельный расход топлива ДВС минимален. Все это позволяет реально (доказано экспериментально) повысить топливную экономичность ТС в 2-3 раза по сравнению с традиционными машинами, на которых механическая энергия передается к ведущим колесам без преобразования ее в электрическую.

Проблема дифференциала у электрифицированных ТС решается весьма просто. Дело в том, что тяговый электродвигатель мотор-колеса при движении ТС в нормальных дорожных условиях имеет мягкую механическую характеристику, при которой выдерживается режим постоянной

мощности, то есть частота вращения ведущего колеса изменяется обратно пропорционально моменту сопротивления вращению. Вследствие этого при повороте ТС скорость внутреннего колеса, испытывающего большее сопротивление движению со стороны дорожного покрытия, будет уменьшаться, в то время как скорость менее загруженного внешнего колеса пропорционально увеличится, что в механических передачах выполняет дифференциал.

Блокировка оси ведущего моста («выключение» дифференциала) у электрифицированной трансмиссии выполняется тоже намного проще – для этого даже не нужно останавливать ТС, достаточно с помощью электронной системы управления на всех ведущих колесах одновременно обеспечить жесткую механическую характеристику с заданной частотой вращения. Эта же система электронного управления тяговыми двигателями мотор-колес может обеспечить поворот полноприводного ТС без специального рулевого механизма, а также разворот ТС на месте при включении двигателей одного из бортов в обратном направлении, то есть появляются новые возможности в отношении повышения маневренности, проходимости и надежности ТС.

Многочратно расширяются целевые функции ТС, так как появляется возможность собирать полноприводный автомобиль из универсальных модулей и создавать при этом ТС практически с любым числом ведущих осей, не сталкиваясь с конструктивными проблемами, связанными с компоновкой кинематической цепи. При этом существенно возрастает полезный объем ТС за счет пространства, которое раньше занимала механическая трансмиссия. Кроме того, унифицированные узлы и целые сборочные единицы во много раз повышают ремонтпригодность автомобиля и снижают время простоя его на ремонте и техническом обслуживании.

## Литература

13. **Александров И.К.** Оценка фрикционных потерь в трансмиссии грузовых автомобилей на основе нового метода энергетического анализа механических передач // Транспорт на альтернативном топливе. – 2012. – № 4 (28). – С. 57-61.
14. Краткий автомобильный справочник НИИАТ. – М.: Транспорт, 1985. – 224 с.
15. **Александров И.К.** Пакет программ для персональной ЭВМ «ПАКЕТ\_11»: Расчет КПД и др. энергетических характеристик механических трансмиссий. – Вологда: ВоПИ, 1991. – 30 с.
16. Патент 2070649 С1 РФ, МКИ 6 F 02 D 45/00, В 60 К 41/16. Способ стабилизации минимального расхода топлива двигателем внутреннего сгорания и устройство для его осуществления / И.К. Александров, Е.В. Несговоров // Б.И. – 1996. – № 35.

## Улучшение показателей работы дизеля на бинарном биоуглеводородном топливе

**В.М. Фомин,**  
профессор РУДН, д.т.н.,  
**Рами Атраш,**  
аспирант РУДН (Ливан)

Предложен комплексный метод совершенствования эколого-экономических показателей дизеля на основе применения двухкомпонентного биодизельного топлива и средств химической активации.

**Ключевые слова:** бинарные топлива, дизельный двигатель, эколого-экономические показатели.

## Improving of diesel engine work indicators on base of binary bio hydrocarbon fuel

**V.M. Fomin, Rami Atrash** (Lebanon)

A comprehensive method of improving the ecological and economic indicators of a diesel engine on the basis of two-component biodiesel fuel and agents of chemical activation.

**Keywords:** binary fuels, diesel engine, ecological and economic indicators.

Одним из решений проблем повышения экологической и топливно-энергетической безопасности в сфере эксплуатации мобильной дизельной техники является замена традиционного углеводородного топлива на биотоплива, в частности, на основе растительных масел. Аккумулирующая солнечную энергию биомасса является практически неограниченной сырьевой базой для получения моторного топлива. Основной причиной, сдерживающей широкое применение биотоплив в дизелях, является несоответствие их физико-химических свойств требованиям эффективной организации рабочего процесса. В этих условиях очевидна необходимость приближения моторных свойств

биологических топлив к стандартным свойствам дизельного топлива.

Одна из таких мер – использование двухкомпонентных биодизельных топлив, при варьировании составом которых возможно достижение у них наиболее приемлемых физико-химических свойств. С учетом сложного характера влияния доли биологического компонента в составе смесового топлива на расход топлива и эмиссию вредных веществ (ВВ) задача выбора его состава для конкретного двигателя должна ставиться как оптимизационная.

Другой эффективной мерой, улучшающей кинетические и экологические качества сгорания биотоплив, является применение средств

химической активации [1]. Особое место среди них занимает водород. Высокая эффективность водорода как химического активатора (реагент) подтверждена данными многочисленных экспериментов. Массовое использование водорода в дизелях в качестве химического активатора сдерживается отсутствием инфраструктуры его производства и распределения, высокой стоимостью, низким уровнем эксплуатационной безопасности. Экономически оправданный и безопасный способ, предложенный в данной работе, предусматривает аккумуляцию (хранение) водорода на борту мобильного средства в химически связанном состоянии в виде жидкого соединения (метанол) [1].

Можно предположить, что скоординированное воздействие на показатели работы биодизеля одновременно двух физико-химических факторов – оптимизации компонентного состава смесового топлива и применения химического реагента – предопределяет возможность эффективного использования биотоплив в дизелях.

Для обоснования методологического подхода проведено предварительное математическое изучение влияния физических свойств биологического топлива на характеристики смесеобразования с использованием программного комплекса MathCAD. В качестве базовых показателей были использованы плотность, динамическая вязкость, поверхностное натяжение метилового эфира рапсового масла (МЭРМ). Установлено, что вследствие повышения значений этих показателей средний диаметр капель биотоплива увеличивается по сравнению с дизельным топливом, что вызывает рост задержки воспламенения и его температурной чувствительности к процессу воспламенения. При этом угол расщепления (раскрытие) топливной струи и ее боковая поверхность уменьшаются, что приводит к снижению количества испарившегося топлива за период задержки

воспламенения. Более высокие плотность и динамическая вязкость биотоплива обуславливают возрастание дальности топливной струи, увеличение доли менее активного пленочного смесеобразования и более медленное изменение давления в цилиндре двигателя в фазе диффузионного сгорания, что увеличивает длительность сгорания в цикле и соответственно снижает его эффективность.

Из приведенных данных становится очевидным, что для сохранения эффективности рабочего цикла дизеля при его переводе на биологическое топливо в исходном варианте (работа на дизельном топливе) необходимо предусмотреть серьезные изменения в его конструкции и системе топливоподачи. Все эти меры, очевидно, сопряжены с большими финансовыми и техническими затратами. В качестве альтернативного решения ряда отмеченных проблем для биодизеля могут оказаться меры, повышающие реакционную способность горючей смеси на основе использования водородного химического реагента.

Предварительно следует заметить, что корректное (с учетом целевой направленности) понимание термина «водород как химический реагент» не соответствует общеизвестному физическому пониманию добавки водорода к топливу как полноценной энергетической составляющей, а рассматривается как незначительная по величине, строго оптимизированная реакционно-химическая присадка, обладающая каталитическим свойством, к реагирующей биоуглеводородной среде. В этом случае предполагается, что влияние водородного реагента, как источника активных центров, проявляется главным образом в механизме химической кинетики образования ВВ. В итоге эмиссия ВВ уменьшается практически без повышения исходных максимальных уровней температуры и давления в рабочем цикле биодизеля. С учетом этого аналитически

обоснован алгоритм корректного дозирования водородосодержащего реагента в структуре системы питания биодизеля. Оптимальное содержание водорода как химического реагента соответствует (по энергетическому эквиваленту) 1,6...1,8 % от химической энергии смесового биоуглеводородного топлива [1].

Детальный механизм воздействия подобного реагента на процессы окисления (сгорание) бинарных биоуглеводородных топлив до настоящего времени остается еще малоисследованным. Тем не менее, опираясь на известные положения теории химической кинетики и катализа, можно высказать предварительное обоснование характерного проявления свойств химического реагента, влияющих на горение углеводородных и биологических компонентов бинарного топлива:

- реакционная активность водородного реагента способствует уменьшению (примерно в 3,5 раза по сравнению с дизельным топливом) толщины зоны гашения (пристеночный слой, в котором не идут окислительные процессы) и, как следствие, снижению эмиссии несгоревших продуктов смесового топлива и частиц;
- по этой же причине происходит горение в присутствии водородного реагента в непосредственной близости от стенок камеры сгорания, в вытеснителях и зазоре между цилиндром и поршнем, что также снижает эмиссию несгоревших компонентов топлива;
- водородный реагент инициирует окислительные процессы в горючей смеси благодаря тому, что энергия, необходимая для начала реакции окисления водорода, примерно в 10 раз ниже той, которая необходима для компонентов используемого топлива;
- эффективность использования химической энергии смесового топлива в завершающей фазе сгорания повышается вследствие активации реагентом догорания продуктов неполного сгорания.

Перечисленный комплекс возможных вариантов воздействия водородосодержащего реагента на процессы термохимического преобразования смесового топлива в дизеле, безусловно, не является исчерпывающим и не исключает другие виды воздействия реагента на сложный механизм этого преобразования. Тем не менее, он позволяет в первом приближении прогнозировать качественные изменения в характерных процессах рабочего цикла биодизеля благодаря реакционному влиянию химического реагента.

На сегодняшний день водородный реагент – единственный и наиболее эффективный реакционно-химический инструмент, способный активно воздействовать на выгорание углеводородных и биологических компонентов топлива и образовавшейся сажи, повышая полноту сгорания смесового топлива в целом. Подобные уникальные свойства водорода обусловлены его способностью генерировать активные частицы, являющиеся центрами зарождения цепных реакций в процессах окисления бинарного топлива [1].

Одним из ключевых вопросов при использовании смесовых топлив является оценка их эффективности с учетом компонентного состава. При смешивании дизельного (углеводородного) топлива с продуктом биологического происхождения в оптимальных пропорциях возможно достижение физико-химических свойств бинарного топлива, при которых обеспечивается предельно возможное улучшение экономических и экологических показателей биодизеля.

С применением методики [2] проведена оценка эффективности использования в дизеле типа 4С 10,5/12 двухкомпонентных топлив на основе МЭРМ и дизельного топлива. По результатам оптимизации состава смесового биотоплива для данного дизеля установлено, что в рамках поставленной задачи доля биологического компонента (МЭРМ) в дизельном топливе

должна соответствовать 40% [2]. В этой же работе было показано, что при использовании бинарного топлива оптимального компонентного состава нормативные экологические требования выполняются по всем токсичным компонентам, за исключением выбросов оксидов азота. Повышение выбросов  $\text{NO}_x$  вызывает биологическая добавка к дизельному топливу, что обуславливает целесообразность дальнейшего поиска решения данной проблемы, в частности, на основе использования водородного реагента.

### Концепция предлагаемого метода

Анализ и обобщения результатов исследований позволяют наметить ряд положений, которые могут стать основой концепции комплексного метода по совершенствованию показателей работы биодизеля. Концепция базируется на трех основных положениях, которые в общем виде могут быть сформулированы следующим образом.

1. С учетом того, что создание высокоэффективного рабочего цикла дизеля при переводе его на биологическое топливо требует внесения изменений в базовую конструкцию ДВС и его топливную аппаратуру, предлагается частичная замена дизельного топлива биологическим компонентом. При применении бинарного топлива с сохранением базовой комплектации двигателя необходимо решить задачи, связанные с отличием физико-химических свойств биологического топлива от свойств традиционного нефтяного.

2. Учет сложного характера влияния доли биологической составляющей в составе бинарного топлива на экологические и топливно-экономические показатели двигателя делает необходимым выбор рационального компонентного состава смесового топлива на основе обобщенного критерия оптимальности, который позволяет интегрально оценить оп-

тимальную долю топлива. При этом прогнозируется предельно возможное улучшение указанных показателей биодизеля.

3. Одной из ключевых сопутствующих проблем, возникающих при использовании биологических добавок к углеводородному топливу, является повышение эмиссии оксидов азота. Для снижения эмиссии токсичных веществ с ОГ, в первую очередь, оксидов азота, в составе рабочего тела биодизеля необходимо предусмотреть строго дозированную порцию химически активного реагента. Благодаря применению реагента дополнительно прогнозируется также повышение полноты сгорания и, как следствие, эффективности использования энергии смесового топлива.

Таким образом, понятие «комплексный метод» предопределяет скоординированное совокупное воздействие на показатели работы биодизеля одновременно двух физико-химических факторов, один из которых обусловлен оптимизацией компонентного состава смесового топлива, другой – применением химического реагента (рис. 1).

Стратегию предлагаемой концепции следует рассматривать как один из альтернативных вариантов решения ряда проблемных вопросов в контексте обсуждаемой проблемы. Использование концепции, средств

и метода ее реализации может быть успешно совмещено с рядом других известных мероприятий, дополняя и усиливая при этом их совокупную эффективность.

Экспериментальная апробация эффективности предложенной концепции проведена в моторном боксе лаборатории кафедры «Эксплуатация автотранспортных средств» Российского университета дружбы народов (РУДН). С этой целью создан испытательный стенд с дизелем типа 4Ч 10,5/12, который был оснащен устройствами для измерения и контроля его параметров. Для генерирования химического реагента разработан опытный образец реактора конверсии метанола, функциональные параметры которого были адаптированы с учетом результатов расчетного анализа [1] к условиям работы дизеля 4Ч 10,5/12 на смесовом топливе. В структурную схему штатной системы питания дизеля встраивалась опытная подсистема ввода и дозирования реагента. Для измерения компонентного состава ОГ стенд оборудован газоаналитической аппаратурой и дымомером 4155, входящими в состав стандартного диагностического комплекса VISA-4000 (Италия).

На предварительном этапе испытаний проведена проверка алгоритма управления расходом добавки химического реагента к рабочему телу

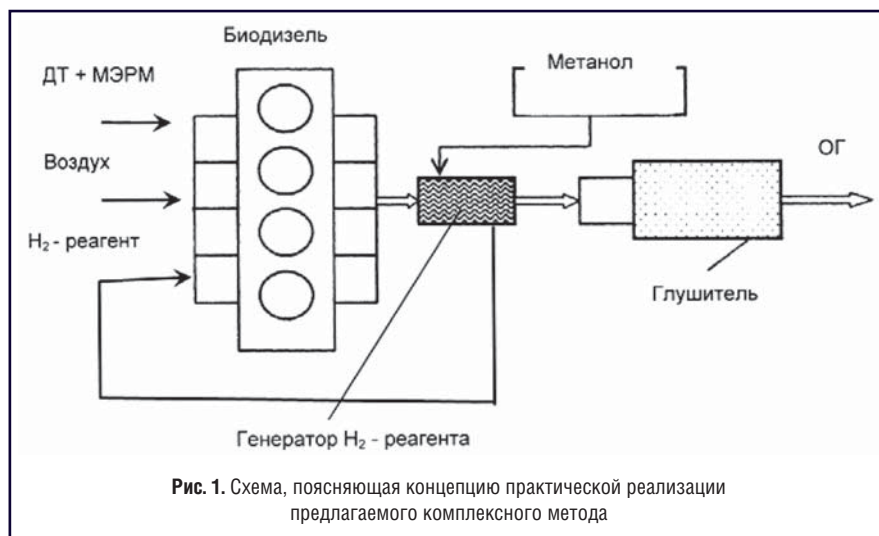
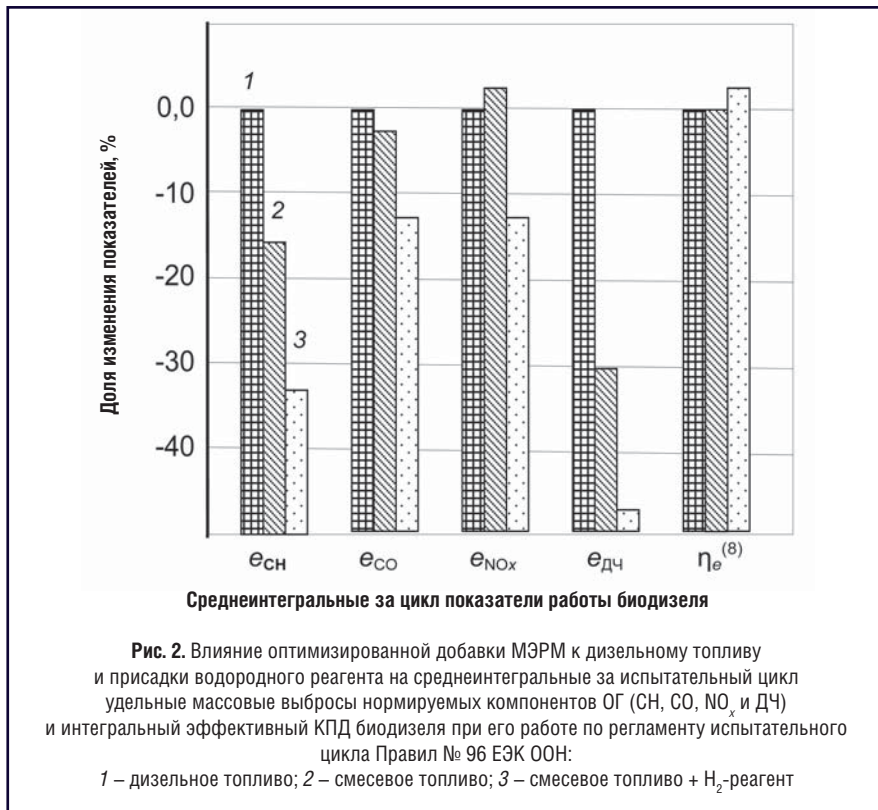


Рис. 1. Схема, поясняющая концепцию практической реализации предлагаемого комплексного метода





дизеля, работающего на биоуглеводородном смесевом топливе, а также потенциальной производительности реактора на соответствие этому алгоритму. По результатам проверки установлено, что потенциальная производительность генератора химического реагента обеспечивает необходимые условия реализации алгоритма, при котором достигается предельно возможное снижение уровня эмиссии ВВ в рабочем диапазоне изменения режимов биодизеля.

Логика последующих испытаний строилась в русле стандартного регламента 8-режимного испытательного цикла Правил ЕЭК ООН № 96 для дизелей транспортных средств на базе колесных тракторов [3]. Установлено, что среднеинтегральные за испытательный цикл удельные выбросы нормируемых компонентов ОГ (СО, СН и ДЧ) для дизеля 4С10,5/12 при его переводе на бинарное топливо с оптимизированным компонентным составом (60 % дизельного топлива + 40 % МЭРМ) были снижены. Однако при этом выбросы оксидов азота, как

и ожидалось, возрастали по отношению к исходному варианту (работа на дизельном топливе), который для наглядности на диаграмме рис. 2 принят в качестве базового.

При работе дизеля на том же бинарном топливе с присадкой водородосодержащего реагента к рабочему телу среднеинтегральные за цикл удельные массовые выбросы по сравнению с исходным вариантом уменьшились: для монооксида углерода на 11,2 %, для углеводородов на 32,8 %, для дисперсных частиц на 48 %. При этом выбросы NO<sub>x</sub> оказались ниже уровня выбросов этого компонента ОГ не только для дизеля, работающего на смесевом биоуглеводородном топливе, но и для его исходного варианта (на 11,9 %).

Среднеинтегральный за цикл удельный эффективный расход топлива увеличился на 1,3 % вследствие более низкой теплоты сгорания биоуглеводородного топлива по сравнению с углеводородным (дизельное) топливом. Однако эффективность использования энергии

биоуглеводородного смесевое топлива возросла, о чем свидетельствует повышение результирующего за испытательный цикл эффективного КПД  $\eta_e^{(8)}$  на 3,5 %.

Таким образом, становится очевидной целесообразность скоординированного и совокупного воздействия на показатели работы биодизеля одновременно двух факторов – оптимизации компонентного состава смесевое топлива и применения химического реагента – и, следовательно, эффективность предложенной концепции комплексного метода в целом.

С учетом данных проведенного исследования можно утверждать, что стратегия подобного комплексного подхода не только решает известные проблемные вопросы биодизеля, но и позволяет его преобразовывать в конкурентоспособную энергетическую установку для транспортных средств с более высокими эколого-экономическими показателями по сравнению с дизелями, работающими по традиционным способам организации рабочего процесса (на дизельном топливе).

## Литература

1. Фомин В.М., Платунов А.С. Водород как химический реагент для совершенствования показателей работы автомобильного двигателя с НВБ // Транспорт на альтернативном топливе. – 2011. – № 4 (22). – С. 30-37.
2. Фомин В.М., Атраш Рами. Разработка бинарных топлив для энергетических установок транспортных средств // Транспорт на альтернативном топливе. – 2012. – № 4 (28). – С. 28-30.
3. ГОСТ Р 41.96–2005 (Правила ЕЭК ООН № 96) Единые предписания, касающиеся двигателей с воспламенением от сжатия, предназначенных для установки на сельскохозяйственных и лесных тракторах и внедорожной технике, в отношении выброса вредных веществ этими двигателями. – М.: Стандартинформ, 2005. – 108 с.

## Мобильное хранение топливных газов в стеклянных капиллярах

**Н.К. Жеваго,**

с.н.с. НИЦ «Курчатовский институт», д.ф.-м.н.,

**С.В. Коробцев,**

директор ИВЭПТ НИЦ «Курчатовский институт», к.ф.-м.н.,

**А.Ф. Чабак,**

в.н.с. НИЦ «Курчатовский институт»,

президент ЗАО «Академия перспективных технологий», к.т.н.

Приведены результаты расчетов и экспериментальных исследований капиллярной емкости для хранения сжатых газов при обычной и криогенной температурах. Показаны преимущества хранения умеренно сжатого водорода при пониженных температурах и перспективность хранения метана в капиллярных емкостях на транспорте.

**Ключевые слова:** водород, метан, капилляры, мультикапиллярные структуры, мобильное хранение, криогенные температуры.

## Mobile storage of fuel gases in glass capillaries

**N.K. Zhevago, S.V. Korobtsev, A.F. Chabak**

In the present paper we present the results of the calculations and experimental investigation of a capillary vessel at normal and cryogenic temperatures. We have demonstrated the advantages of the cryo-compressed hydrogen storage and the perspectives of mobile methane storage in the capillary vessels.

**Keywords:** hydrogen, methane, capillaries, multi-capillary arrays, mobile storage, cryogenic temperatures.

**К**ак известно, водород является идеальным экологически чистым топливом, когда используется в топливных элементах, вырабатывающих электрическую энергию в результате окислительно-восстановительной реакции. В настоящее время существует несколько подходов к решению проблемы мобильного хранения водорода, включая физические (жидкий, сжатый водород или комбинация умеренного охлаждения и сжатия), химические (гидриды металлов) и физико-химические методы (адсорбция активированным углем или фуллеренами).

При хранении водорода в жидком состоянии требуется его охлаждение до 20 К. Хотя массовое содержание жидкого водорода в емкости достигает 7,1 %, недостатками этого способа хранения являются наличие сложных криогенных систем, потери водорода за счет испарения (до 3...5 % в сутки), периодический сброс испарившегося водорода и, как следствие, недопустимость хранения в закрытых помещениях. Все другие способы аккумуляции водорода (интерметаллиды, фуллерены, нанотрубки, активированные угли, цеолиты и др.) обеспечивают его содержание, как правило, не

выше 4,5 %, то есть ниже 6 %, при котором водород может претендовать на место традиционных видов топлива для транспорта.

Водород в сжатом виде представляется наилучшим способом мобильного хранения вследствие простоты сжатия, быстроты перезагрузки емкости с газом и наименьших инфраструктурных затрат при использовании в транспортных средствах. Однако водород имеет ряд особенностей по сравнению с традиционным топливом. В частности, контакт водорода с металлами может вызвать их охрупчивание и привести к катастрофическому разрушению стальных баллонов с водородом при давлениях, существенно более низких, чем расчетные. Известно также, что водород хорошо диффундирует сквозь многие обычно используемые композиционные материалы и через микроскопические щели, что легко устраняется для более тяжелых газов. Хотя водород и обладает высокой летучестью, в закрытых пространствах его утечка представляет большую опасность, чем утечки бензина или природного газа, поэтому одним из препятствий для широкого внедрения водородной энергетики является необходимость обеспечения безопасности хранения водорода. Согласно большинству международных стандартов обычные баллоны для хранения сжатого водорода должны иметь фактор безопасности 2,35, величину которого желательно уменьшить за счет снижения фактора катастрофических последствий при разрушении емкости для хранения.

Чтобы обеспечить пробег среднего легкового автомобиля в 500 км без дозаправки необходимо 6,8 кг водорода, для чего потребовался бы обычный баллон вместимостью 368 л, что находится за пределами разумного объема. Сжатие водорода до 55 МПа уменьшает объем на 30 %, а до 103 МПа – на 55 %, однако сохранение безопасности таких

баллонов приводит к нежелательному увеличению их массы. Применение углеродных композиционных материалов вместо стали лишь частично решает эту проблему, но приводит к непомерному росту стоимости баллона.

Существует ряд требований к мобильному хранению водорода, среди которых требования к массовому и объемному содержанию водорода в носителе. Ближайшая цель – 6 % для весового содержания и 45 г/л для объемного, при достижении которой водород мог бы претендовать на место традиционных видов топлива для транспорта, – так и не достигнута с помощью существующих подходов. В связи с этим возникает необходимость новых нетрадиционных методов мобильного хранения водорода. Разрабатываемая технология хранения сжатых газов в стеклянных капиллярах [1-3] позволяет достичь необходимых параметров хранения и имеет следующие преимущества:

- в тонких капиллярах прочность стекла приближается к теоретической, которая в несколько раз выше прочности стали;
- при понижении температуры прочность стекла растет, а проницаемость стенок для водорода падает, что делает хранение сжатого водорода при низких температурах еще более эффективным;
- объем хранящегося водорода разбивается на множество мелких объемов, соответствующее числу капилляров в системе, что исключает мгновенный выброс большого количества газа при аварийном разрушении емкости и делает хранение водорода более безопасным;
- по сравнению с металлами стекло химически инертно к водороду, что исключает проблему охрупчивания;
- капилляры можно заполнить любым газом (например, метаном), а не только теми, что могут достаточно быстро диффундировать через стекло

при повышенных температурах, как это происходит в случае использования полых стеклянных микросфер [4].

### Расчеты критического давления внутри капилляров

Потенциальные возможности капилляров для хранения сжатых газов можно оценить следующим образом. Рассмотрим тонкостенный, достаточно длинный и гибкий цилиндрический капилляр с внутренним радиусом  $r$  и толщиной стенки  $h \ll r$ , который может быть намотан на цилиндрическое основание (катушка) с радиусом  $R$  и подвержен внутреннему давлению газа  $p$ . Согласно теории прочности тонкостенных тороидальных оболочек [5] максимальные продольное (по касательной к оси капилляра)  $\sigma_1$  и тангенциальное  $\sigma_2$  напряжения определяются выражениями

$$\sigma_1 = \frac{pr}{2h}, \quad \sigma_2 = \frac{pr}{2h} \frac{2R-r}{R-r}.$$

Если радиус намотки  $R$  значительно превосходит радиус капилляра  $r$ , что в практических случаях всегда выполняется, то для критического давления получаем следующее выражение

$$p_{\max}(A) = \frac{\sigma}{A},$$

где  $\sigma$  – прочность на растяжение материала, из которого сделан капилляр;  $A=r/h$  – аспектное отношение капилляра.

Теоретическая прочность стекла, определяемая силой связи атомов, весьма велика, однако большинство стеклянных изделий обладает на 1-2 порядка более низкой прочностью.

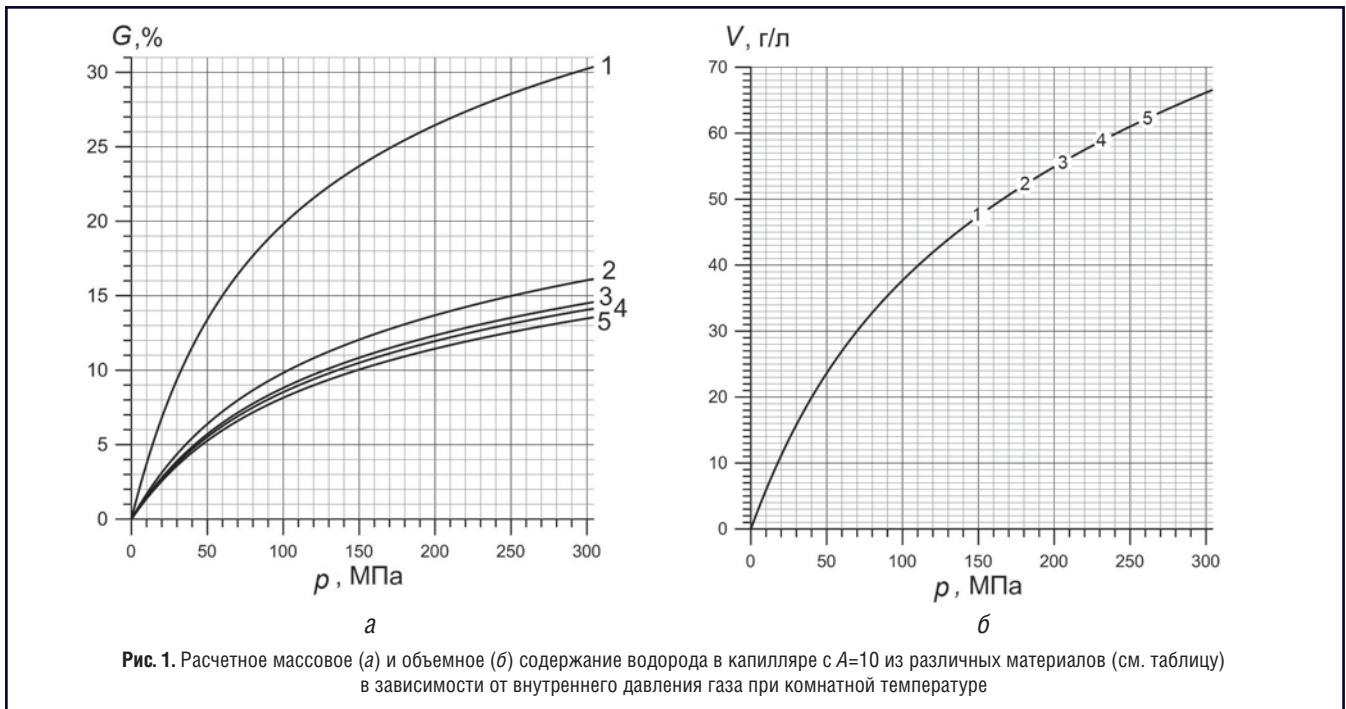
Снижение прочности стекол по сравнению с теоретической объясняется гипотезой микротрещин Гриффита (Griffith). В модели Гриффита [6] постулируется, что на поверхности стеклянного образца существуют трещины, которые можно наблюдать только методами электронной микроскопии на относительно небольшой поверхности. Приложенное к образцу растягивающее напряжение концентрируется у вершины трещины. При этом локальное напряжение может стать равным теоретической прочности стекла, и произойдет разрыв атомных связей, хотя среднее напряжение в образце остается ниже порога разрушения.

Известно, что тонкие стеклянные нити, вытянутые в вакууме, могут иметь прочность около 14 ГПа, сопоставимую с теоретической. Чем тоньше образцы из стекла, тем выше их реальная прочность, что связано с уменьшением вероятности образования трещин критической глубины. Реальная прочность нитей толщиной 10...20 мкм из различных типов стекла и сверхвысокомолекулярного полиэтилена (UHMWPE), их плотность и соответствующее критическое давление в капилляре с аспектным отношением  $A=10$  приведены в таблице.

Капилляры из стекла при пониженных температурах имеют значительные преимущества по сравнению с другими материалами. Хорошо известно [7], что прочность на растяжение стеклянных нитей возрастает на 40...80 % при температуре жидкого азота. Например, нити из магний-алюмосиликатного стекла S2-glass при

**Характеристики капилляров с аспектным отношением  $A = 10$**

| Номер | Материал капилляра | Характеристика             |                |                  |
|-------|--------------------|----------------------------|----------------|------------------|
|       |                    | $\rho$ , г/см <sup>3</sup> | $\sigma$ , МПа | $p_{\max}$ , МПа |
| 1     | UHMWPE             | 0,97                       | 3500           | 350              |
| 2     | Кварц              | 2,2                        | 7000           | 700              |
| 3     | S-Glass            | 2,48                       | 4710           | 471              |
| 4     | E-Glass            | 2,57                       | 3450           | 345              |
| 5     | Базальт            | 2,7                        | 4840           | 484              |



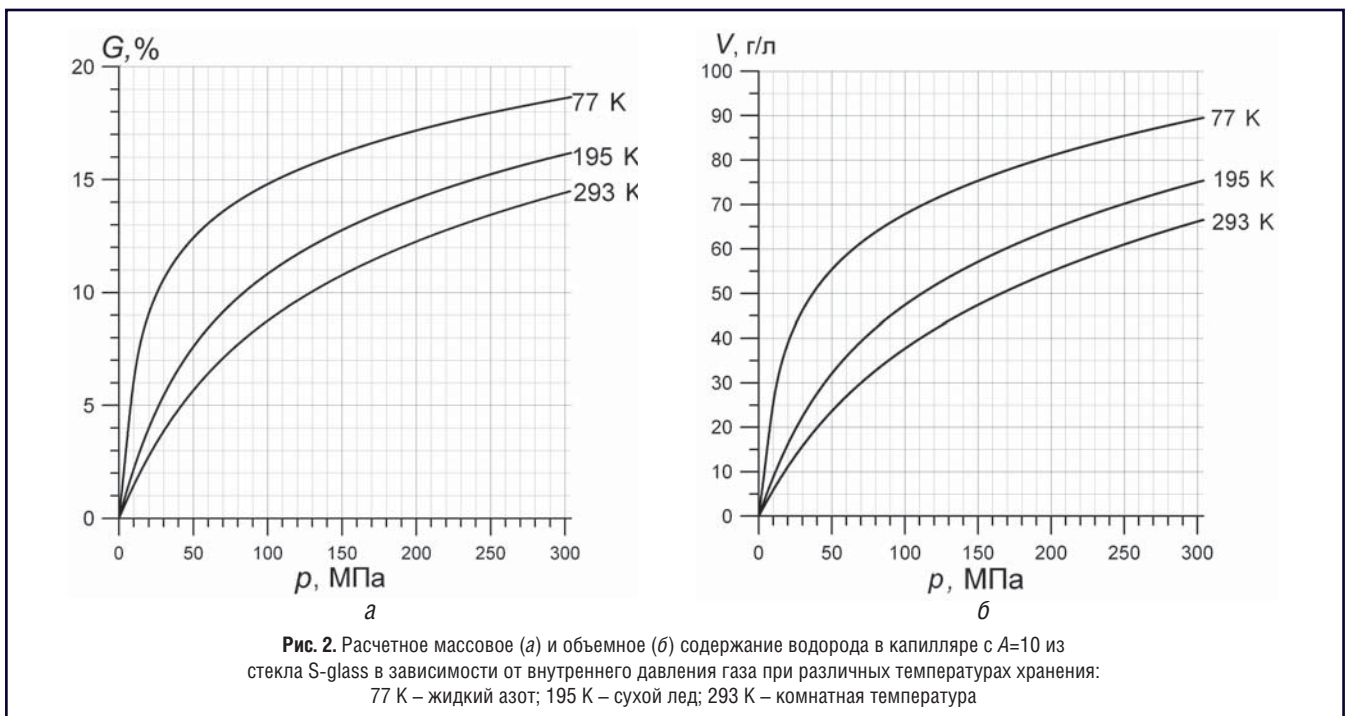
температуре жидкого азота 77 К имели прочность на растяжение 8275 МПа и выше. При понижении температуры и постоянстве давления в капилляре плотность водорода растет. При фиксированном аспектном отношении капилляра эти факторы значительно повышают массовое и объемное содержание водорода в капиллярной емкости и увеличивают безопасность хранения.

Метод хранения умеренно сжатого водорода при криогенных температурах (cryo-compressed storage) является наиболее перспективным, например, фирмой BMW разрабатываются охлаждаемые баллоны для применения в автомобилях на водородном топливе [8].

Массовое содержание водорода  $G$  определяется как отношение массы водорода в капилляре к массе

капилляра (вместе с водородом), а объемное содержание  $V$  – как отношение массы водорода к объему намотанного капилляра с учетом коэффициента упаковки  $\pi/(2\sqrt{3})$  для плотно намотанных слоев капилляра (рис. 1 и 2).

Объемное содержание не зависит от типа материала капилляра, а определяется лишь аспектным отношением и коэффициентом упаковки



слоев намотки капилляра, однако надо иметь в виду, что материал стенки определяет допустимое внутреннее давление газа.

Из приведенных результатов расчетов видны значительные преимущества хранения сжатого водорода при пониженных температурах, в особенности при относительно невысоких давлениях до 50 МПа. Например, при температуре жидкого азота объемное содержание водорода  $V=45$  г/л может быть получено при давлении 30 МПа, при этом массовое содержание  $G$  превышает 10 %.

### Экспериментальные исследования

Для реализации всех преимуществ хранения сжатых газов в стеклянных капиллярах в НИЦ «Курчатовский институт» была разработана и испытана конструкция капиллярной емкости, которая включает намотанные на катушку гибкие капилляры из кварца внутренним диаметром 101,6 мкм, с аспектным отношением 4,2 и длиной 40 м. Капилляр покрыт защитно-упрочняющим слоем полимера и намотан на катушку радиусом около 5 см. Оба конца капилляра были заклеены в переходной модуль, позволявший герметично соединить капилляр с газовым трактом водородного компрессора с рабочим давлением газа до 250 МПа (рис. 3). Капилляр мог охлаждаться до температуры 77 К путем погружения катушки в жидкий азот.

Предварительные многократные механические испытания капилляров

длиной до 1 м на разрыв показали, что их прочность  $\sigma=3136...9156$  МПа, что соответствует внутреннему критическому давлению газа  $p=656...1915$  МПа. При испытаниях на установке высокого давления газов капиллярная емкость находилась при нормальной температуре под давлением водорода 236,4 МПа, при криогенной температуре 77 К – под давлением 182 МПа. В этом случае плотность водорода в капилляре достигала 105 г/л, что значительно выше плотности жидкого водорода 70,99 г/л. К сожалению, из-за слишком малого аспектного отношения изготовленного капилляра, слишком толстого покрытия капилляра полимером и, как следствие, уменьшенного внутреннего объема объемное содержание водорода было значительно ниже (около 30 %), чем могло бы быть согласно расчетам в оптимальном капилляре с аспектным отношением 10.

Таким образом, капиллярные емкости из высокопрочных сортов стекла и кварца являются практической альтернативой баллонам из стали и композитных материалов для хранения газов высокого давления, в особенности при дополнительном умеренном охлаждении сжатых газов. В экспериментах были достигнуты рекордные значения внутреннего давления и плотности водорода в капиллярах из кварца.



Рис. 3. Образцы капиллярных емкостей для водорода с модулями сопряжения

Для широкого практического применения капиллярных емкостей необходимо усовершенствовать технологию производства гибких капилляров или мультикапилляров, основанную в настоящее время на технологии производства оптических волокон, с тем, чтобы получить капилляры достаточной длины с аспектным отношением 10 и более. Перспективными материалами для капилляров могут служить UHMWPE и полиамиды, а также композиты из стекла и этих материалов. В этом случае применение низких температур предпочтительно для предотвращения значительной диффузии водорода через полимеры.

Помимо водорода, разрабатываемый метод позволяет хранить и другие газы, например, метан или смесь метана с водородом. Мультикапилляры большой длины могут быть использованы также как альтернатива водородным трубопроводам из стали [9].

*Исследования проведены при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ согласно контракту № 16.516.12.6009.*

## Литература

1. Zhevago N.K., Chabak A.F., Glebov V.I. et al. Onboard hydrogen accumulator for vehicles. Report at the International G8 Forum «Hydrogen technologies for energy production». – Moscow, 6-10 February 2006.
2. Zhevago N.K., Glebov V.I. Hydrogen storage in capillary arrays. Energy Convers Mgmt 2007; 48:1554-1559. Available at: doi:10.1016/j.enconman.2006.11.017. 39.
3. Zhevago N.K., Denisov E.I., Glebov V.I. Experimental investigation of hydrogen storage in capillary arrays. Int J Hydrogen Energy 2010; 35: 169-175. Available at: doi:10.1016/j.ijhydene.2009.10.011.
4. Akunets A.A., Basov N.G., Bushuev V.S. et al. Super-high-strength microballoons for hydrogen storage. Int J Hydrogen Energy 1994; 19: 697-700.
5. Fryer D.M., Harvey J.F. High Pressure Vessels. New York, Chapman & Hall, Int. Thomson Publishing;1998.
6. Griffith A.A. The phenomena of rupture and flow in solids. Phil Trans R Soc Lond 1921; A221:163-198.
7. Hartman D., Greenwood M.E., Miller M.D. High Strength Glass Fibers. AGY technical paper. [http://www.agy.com/technical\\_info/graphics\\_PDFs/HighStrengthTechPaperEng.pdf](http://www.agy.com/technical_info/graphics_PDFs/HighStrengthTechPaperEng.pdf)
8. Kunze K. Performance of a cryo-compressed hydrogen storage. World Hydrogen Energy Conference (WHEC2012) Toronto, Canada, June 3-7, 2012. Available at: [http://www.whec2012.com/wp-content/uploads/2012/06/20120604\\_WHEC\\_Kunze\\_rev2.pdf](http://www.whec2012.com/wp-content/uploads/2012/06/20120604_WHEC_Kunze_rev2.pdf)
9. Chabak A.F. The patent No. 81555 (RU) «The device for gas transportation». Priority on December 23, 2008.

## Безопасность водородной энергетики применительно к автотранспортному процессу на газомоторных топливах

**В.Н. Коноплев,**

профессор кафедры «Автомобили и двигатели» МГИУ, д.т.н.

В статье проанализирована безопасность автотранспортных средств, использующих природный газ в качестве моторного топлива, рассмотрены аспекты использования водорода в качестве моторного топлива с учетом Правил ЕЭК ООН, регламентирующих требования пассивной безопасности грузовых транспортных средств. Освещены следующие аспекты: изготовление и испытания криогенных сосудов для водорода; особенности тепломассообмена в транспортных криогенных резервуарах с учетом содержания ортофазы; обеспечение безопасности при выбросе водорода из топливных сосудов и магистралей в эксплуатационных условиях и аварийных ситуациях; структура безопасности грузового автотранспортного процесса при использовании газомоторных топлив.

Сформулированы соответствующие задачи для освоения использования водорода в качестве моторного топлива грузовыми автотранспортными средствами.

**Ключевые слова:** пожароопасность, пожаровзрывобезопасность, компримированный природный газ (КПГ), система пассивной безопасности, Правила ЕЭК ООН, криогенный сосуд, тепломассообмен, захлаживание сосуда, криожидкость, ортофаза, ортопараконверсия, компоновочно-конструкторские схемы.

## Basic safety aspects of hydrogen energy as applied for gas vehicles

**V.N. Konoplev**

Article deals with the safety of vehicles, which using natural gas as a motor fuel, there was considered some aspects of using hydrogen as a fuel with the UNECE Regulations, regulating the passive safety requirements of trucks. There are some aspects: manufacturing and testing of cryogenic vessels for hydrogen; features of the heat and mass exchange in the transport cryogenic tanks considering the content of the ortho phase; the providing of the safety in the ejection of hydrogen from the fuel vessels and lines in operational conditions and emergency situations; the structure of the safety of gas vehicles.

For the development of using hydrogen as a fuel for trucks, there have been formulated some relevant tasks.

**Keywords:** fire and explosion safety, compressed natural gas (CNG), passive safety system, UNECE Regulations, cryogenic vessel, heat and mass exchange, cooling down the vessel, cryogenic liquid, ortho phase, layout and design schemes.

В настоящее время расширяется применение пожароопасных технологий, насыщенных пожароопасными веществами, материалами, изделиями. В автотранспортном процессе новые технологии, как правило, также пожароопасны [1].

Защита автотранспорта и автопредприятий от пожаров и взрывов неразрывно связана с изучением причин пожаровзрывоопасности автотранспортных средств (АТС), возможности распространения горения по технологическим средам, а также с разработкой технических средств, препятствующих распространению пламени и разрушению технологического оборудования.

По данным НИЦ ГИБДД МВД РФ, число ДТП по техническим причинам в общем числе транспортных происшествий достигает 15 % [1].

На 01.01.2012 г. парк грузовых АТС в России насчитывал 5,5 млн ед. При этом, по статистическим данным, грузовые автомобили участвуют в каждом пятом ДТП, а аварии с их участием отличаются особо высокой тяжестью последствий.

Во Франции произошли две аварии с автобусами, работающими на КПГ. В обоих случаях были разрушены композитные баллоны с последующим возгоранием газозвушной смеси. По результатам расследований французские власти предложили запретить эксплуатацию газовых автобусов в туннелях.

Для подготовки контраргументов Французская газомоторная ассоциация (AFGNV) сформировала межведомственную экспертную группу для проведения исследований, которые включали:

- анализ рисков эксплуатации грузовых автомобилей, автобусов и мусоровозов, работающих на КПГ;
- моделирование сценариев развития аварий и связанных с ними опасных последствий;

- оценку рисков эксплуатации грузовых автомобилей, автобусов и мусоровозов, работающих на КПГ, и их сравнение с дизельными аналогами в подобных ситуациях.

Результаты моделирования позволили сделать следующие выводы.

- Для автобуса на КПГ, движущегося в туннеле, в первые 10 мин после аварии количественная оценка показывает, что уровень глобального риска в три раза меньше, чем для дизельного автобуса. В частности, для газового автобуса задымление на 80 % меньше, чем для дизельного. Через 1 ч после аварии уровень глобального риска в 1,4 раза меньше, чем для дизельного автобуса.

- Для газовых грузовых автомобилей грузоподъемностью 3,5...10 т уровень глобального риска на 61 % ниже, чем для дизельных автомобилей, а при грузоподъемности 19...26 т этот показатель на 87 % ниже, чем для дизельных автомобилей.

Результаты исследований позволили сделать вывод, что эксплуатация грузовых автомобилей, автобусов и мусоровозов, работающих на КПГ, в туннелях не более опасна, чем эксплуатация дизельных аналогов.

В автомобиле конструктивно объединяются достаточно мощная

система электроснабжения, разветвленная электрическая сеть, развитые топливные магистрали, детали двигателя и его систем, которые могут подвергаться нагреву и при определенных условиях привести к возникновению источников аномально высокой тепловой радиации. Радиационный или кондуктивный перенос теплоты в зоны нахождения горючих материалов или топлива повышает их температуру и при ее критическом значении может привести к воспламенению и развитию пожара.

Пожары АТС относятся к особо тяжелым авариям и часто приводят к человеческим жертвам. Поэтому проблема повышения пожарной безопасности грузовых АТС весьма актуальна.

Пожарная безопасность АТС оценивается главным образом на основе анализа статистики пожаров и режы при экспериментах. Вероятность загорания находится в пределах  $2 \cdot 10^{-3} \dots 8 \cdot 10^{-4}$  в год для грузовых и легковых автомобилей [2]. Во Франции число пожаров легковых автомобилей составляет 2,3, а в США 1,0 на 1 тыс. застрахованных машин. В промышленно развитых странах пожары АТС составляют 5...15 % общего числа пожаров. Гибель людей при этом

достигает 6...12 % общего числа погибающих на пожарах. Ежегодно в США возникает около 17 тыс. пожаров АТС при ДТП.

Вероятность загорания грузового автомобиля при ДТП в 10 раз выше, чем легкового, и составляет до 1,0 % в год. В Великобритании 5,38...7,2 % общего числа ДТП сопровождаются загораниями АТС, в ФРГ 2,4...4,2 %. Пожары на транспорте в Московской обл. составляют до 10 % всех зарегистрированных ДТП. По статистическим данным, в среднем по стране ежегодно сгорает около 11 тыс. легковых, 3 тыс. грузовых автомобилей, до 1 тыс. автобусов, троллейбусов и трамваев. В результате пожаров на транспорте в год гибнет около 200 человек и около 680 получают травмы и увечья. Годовой материальный ущерб оценивается более чем в 165 млн руб. Ежегодно число пожаров возрастает в среднем на 9, погибших – на 11, травмированных – на 8,2 %. Ежегодный рост материального ущерба достигает 18 % [2].

Непрерывный рост интенсивности движения транспортных средств и использования ими газомоторных топлив, увеличение потерь общества от ДТП вызывали необходимость при создании и эксплуатации

Таблица 1

### Правила ЕЭК ООН, регламентирующие требования пассивной безопасности грузовых транспортных средств [4]

| Номер правил и серия действующих поправок<br>Дата вступления в силу оригинальной версии правил | Краткое наименование правил (область применения для категорий ТС)   | Обозначение официально принятого документа E/ECE/324-E/ECE/ TRANS/505/ ... | Дата начала применения в РФ | Аналогичные российские нормативные документы |
|--|---|--|-----------------------------|--|
| 29 – 02<br>15.06.1974  | Кабина грузовых автомобилей (N)   | Rev.1/Fdd.28/Rev.1<br>Rev.1/Add.28/Rev.1/Amend.1                           | 17.02.1987                  | ГОСТ Р 41.29–99                              |
| 58 – 01<br>01.07.1983  | Задние защитные устройства грузовых транспортных средств (N <sub>2</sub> , N <sub>3</sub> , O <sub>3</sub> , O <sub>4</sub> ) | Rev.1/Add.57/Rev.1   | 06.03.1988                  | ГОСТ Р 41.58–2001                            |
| 61 – 00<br>15.07.1984  | Наружные выступы грузовых автомобилей (N)   | Rev.1/Add.60   | 17.02.1987                  | ГОСТ Р 41.61–2001                            |
| 73 – 00<br>01.01.1988  | Боковая защита грузовых транспортных средств (N <sub>2</sub> , N <sub>3</sub> , O <sub>3</sub> , O <sub>4</sub> )             | Rev.1/Add.72   | 08.04.1996                  | ГОСТ Р 41.73–99                              |
| 93 – 00<br>27.02.1994  | Передние противоподкатные защитные устройства (N <sub>2</sub> , N <sub>3</sub> )  | Rev.1/Add.92   | 30.06.1998                  | ГОСТ Р 41.93–99                              |

современных сложных транспортных систем разработки комплекса мероприятий, обеспечивающих функционирование систем в условиях ДТП с минимальной тяжестью последствий для его участников и направленных на повышение пассивной безопасности.

Пассивная безопасность грузовых АТС, как научное направление, стала развиваться с 60-х гг. XX в. Интенсивное развитие работ в этой области для грузовых АТС в нашей стране пришлось на период 1970-1990 гг. [3].

Несмотря на многогранность и комплексность проблемы обеспечения пассивной безопасности к началу работ (1981 г.) по использованию природного газа в качестве моторного топлива для грузовых АТС в недостаточной степени были разработаны научно обоснованные методы исследования, отсутствовали многие оценочные критерии и характеристики. Практическое внедрение мероприятий по повышению пассивной безопасности в большой степени сдерживалось отсутствием разработок, комплексно охватывающих проблему в целом. Автомобильная промышленность и транспорт только искали пути повышения пассивной безопасности грузовых АТС, работающих на ГМТ с системами их хранения под давлением 1,6...20,0 МПа или в сжиженном состоянии при температуре  $-161$  °С. В настоящее время система обеспечения пассивной безопасности комплекса человек-автомобиль-дорога-среда регламентируется Правилами ЕЭК ООН № 29, 58, 61, 73 (табл. 1).

Будущее развитие автотранспорта неразрывно связано с возрастающими темпами применения водорода в качестве моторного топлива, которое сопровождается интенсификацией рабочих и технологических процессов, увеличением единичной мощности агрегатов, созданием

и использованием энергоемких веществ и материалов с новыми, недостаточно изученными, свойствами. Эти процессы регламентируются Техническими регламентами по безопасности автотранспортных средств и транспортной инфраструктуры [5-9].

Использования водорода в качестве моторного топлива для АТС требует решение комплекса проблем безопасности в следующих процессах:

- при изготовлении и испытании криогенных сосудов;
- при протекании процессов теплообмена в криогенных резервуарах во время транспортировок;
- при выбросе водорода из топливных сосудов и магистралей в эксплуатационных условиях и аварийных ситуациях;
- при создании датчиков водорода и использовании средств измерений для контроля производства, хранения, транспортировки топлива и расчетов при купле-продаже;
- при создании водородной инфраструктуры.

Рассмотрим каждый аспект.

### **Изготовление и испытания криогенных сосудов для водорода**

Изготовление криогенных резервуаров, предназначенных для накопления, хранения, перевозки и выдачи жидкого водорода, требует высокого качества работ, так как нарушение функционирования систем резервуара в лучшем случае приводит к ухудшению технических характеристик, то есть параметров эксплуатации. Высокая стоимость жидкого водорода и ограниченность его производства и потребления могут привести к серьезным финансовым потерям. В худших случаях, например, при разгерметизации вакуумного пространства, происходит выброс большого количества газообразного водорода

и возможны, хотя и очень маловероятны, разрыв емкости и (или) взрыв облака водорода.

Изготовление резервуаров тщательно контролируется. После изготовления для подтверждения их технических характеристик проводится комплекс испытаний, включающий:

- проверку на прочность пробным давлением;
- захлаживание резервуаров;
- проверку функционирования арматуры и измерительных приборов;
- определение максимально допустимого давления в резервуаре при наличии в нем криожидкости (холодный удар);
- проверку темпа выдачи криожидкости из резервуара;
- измерение потерь криожидкости от испарения с замером вакуума в теплоизоляционной полости и др.

На испытаниях выявлено существенное влияние двух факторов: наличия процесса ортопараконверсии в жидком водороде и расположения резервуаров вне закрытого помещения [10].

Жидкий водород для заливки в резервуары чаще всего поступает с оживителей водорода и поэтому содержит количество ортофазы, превышающее равновесное. Теплота фазового перехода при ортопараконверсии ортофазы увеличивает испаряемость жидкости и искажает результаты замеров потерь водорода от испарения, вызванных теплопритоком из окружающей среды.

Тепловыделение от конверсии прямо пропорционально количеству водорода в резервуаре, в то время как теплоприток из окружающей среды при коэффициентах заполнения более 30 % зависит слабее от количества водорода в резервуаре. Поэтому для уменьшения влияния



тепловыделения от конверсии при испытаниях имеет смысл рассматривать возможность определенного уменьшения количества жидкости в резервуаре.

При испытаниях резервуаров с жидким водородом на испаряемость обязательно необходимо учитывать влияние средней температуры кожуха, и во время испытаний содержание в жидком водороде ортофазы не должно превышать 1,5...2 %.

### Особенности тепломассообмена в транспортных криогенных резервуарах

В режиме движения при воздействии на резервуар, частично заполненный жидкостью, низко- и высокочастотных колебаний нагрев двухфазной системы жидкость–пар происходит практически равномерно. Данные по распределению температуры в жидком азоте, полученные при испытании автомобильного бака объемом 200 л, убедительно это доказывают. Согласно отечественным нормативным документам заполнение стационарных резервуаров криогенными продуктами допускается без учета рабочего давления. Из этого принципа следует, что увеличение рабочего давления сопровождается сокращением степени заполнения резервуара и ухудшением его технико-экономических показателей.

### Обеспечение безопасности при выбросе водорода из топливных сосудов и магистралей в эксплуатационных условиях и аварийных ситуациях

Как правило, при испытаниях и для предупреждения взрывоопасных ситуаций при выбросе водорода из топливных баков грузовых АТС, цистерн или магистралей питания с расходами более 0,5 кг/с осуществляется

**Концентрационные пределы воспламенения и детонации для газовых смесей водорода с воздухом и кислородом**

| Смесь                          | Объемное содержание водорода, % |           |                |           |
|--------------------------------|---------------------------------|-----------|----------------|-----------|
|                                | Нижний предел                   |           | Верхний предел |           |
|                                | воспламенения                   | детонации | воспламенения  | детонации |
| H <sub>2</sub> -O <sub>2</sub> | 4,6                             | 15        | 94             | 90        |
| H <sub>2</sub> -воздух         | 4,1                             | 18,3      | 74,2           | 59        |

дожигание, а при меньших расходах – отвод водорода из технологических систем и сбрасывание в атмосферу.

Для предотвращения образования водородовоздушных и водородокислородных взрывоопасных смесей предусматриваются:

- повышение требований к герметичности соединений в системах стэнда и изделия;
- контроль концентраций водорода и применение систем флегматизации в отсеках испытательного стэнда;
- предотвращение контакта водорода с воздухом или окислителем (кислород) в полостях и коммуникациях;
- применение систем организованного воспламенения и дожигания водородных выбросов (табл. 2).

В обычных условиях водородовоздушная или водородокислородная смеси являются смесями квазиравновесного состава, для воспламенения которых необходим внешний источник энергии, ускоряющий химическую реакцию. Воспламенение горючей смеси может быть инициировано электрической искрой, нагретым телом, открытым пламенем, ударной волной и т.д. Минимальная энергия воспламенения водородовоздушной смеси составляет 0,02 мДж. Минимальная температура тела, приводящая к самовоспламенению водородовоздушной смеси, равна 700 К.

При дожигании водорода воспламенение смеси может осуществляться горячей газовой струей. В реальных условиях при размерах воспламеняющих устройств, состав-

ляющих несколько сантиметров, температура воспламеняющей струи должна быть не менее 1100 К [10].

Более опасной по своим последствиям является детонация (взрыв) водородных смесей. При этом опасность усугубляется тем, что пределы детонации находятся внутри области воспламенения. Для возникновения детонации, кроме горючей смеси, необходим источник инициирования. Известно, что наиболее легко детонация возбуждается ударной волной. Было установлено [10], что в водородовоздушных смесях, близких к стехиометрическим, ударные волны могут возникать и в свободном пространстве при наличии достаточно мощного источника воспламенения. Минимальный критический размер ударной волны, необходимый для возбуждения сферической детонации, составляет 0,5 м. При разбавлении смеси азотом критический размер ударной волны увеличивается. Так, при 100%-м разбавлении воздуха азотом критический размер ударной волны равен 1,1 м.

При создании системы воспламенения и дожигания выбросов водорода необходимо обеспечить выбор типа и параметров поджигающего устройства и метода зажигания.

### Создание датчиков водорода и использование средств измерений

Получение, хранение и использование водорода в жидком и газообразном состояниях немислимы

без создания простых, надежных, малогабаритных, дешевых датчиков водорода и других молекулярных газов, содержащих атомы водорода. Создание датчиков для молекулярного водорода, работающих при низких и умеренных температурах, является важной задачей.

Наиболее перспективным направлением в создании датчиков водорода является использование углеродных нанотрубок. Благодаря развитию метода химического осаждения из пара с помощью катализатора получают почти любые морфологические структуры нанотрубок, меняя их свойства от баллистической проводимости до полупроводниковой с любой величиной энергетической щели [10].

**Структура безопасности грузового автотранспортного процесса при использовании газомоторных топлив**

Широкий комплекс исследований большинства аспектов конструктивной и эксплуатационной безопасности автомобильной техники и элементов системы человек–автомобиль–дорога–среда создал предпосылки для изучения и повышения

пожарной безопасности грузовых АТС. Росту пожаровзрывоопасности производства противопоставлены адекватные защитные меры, которые были определены федеральными законами «О пожарной безопасности» и «О промышленной безопасности опасных производственных объектов», а также подзаконными актами и ГОСТ Р 12.3.047–98 «Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля».

Важным направлением снижения аварийности и повышения безопасности грузовых АТС является выработка концепции их обеспечения методами контроля технического состояния и системой поддержания работоспособности систем хранения и подачи ГМТ на грузовом АТС.

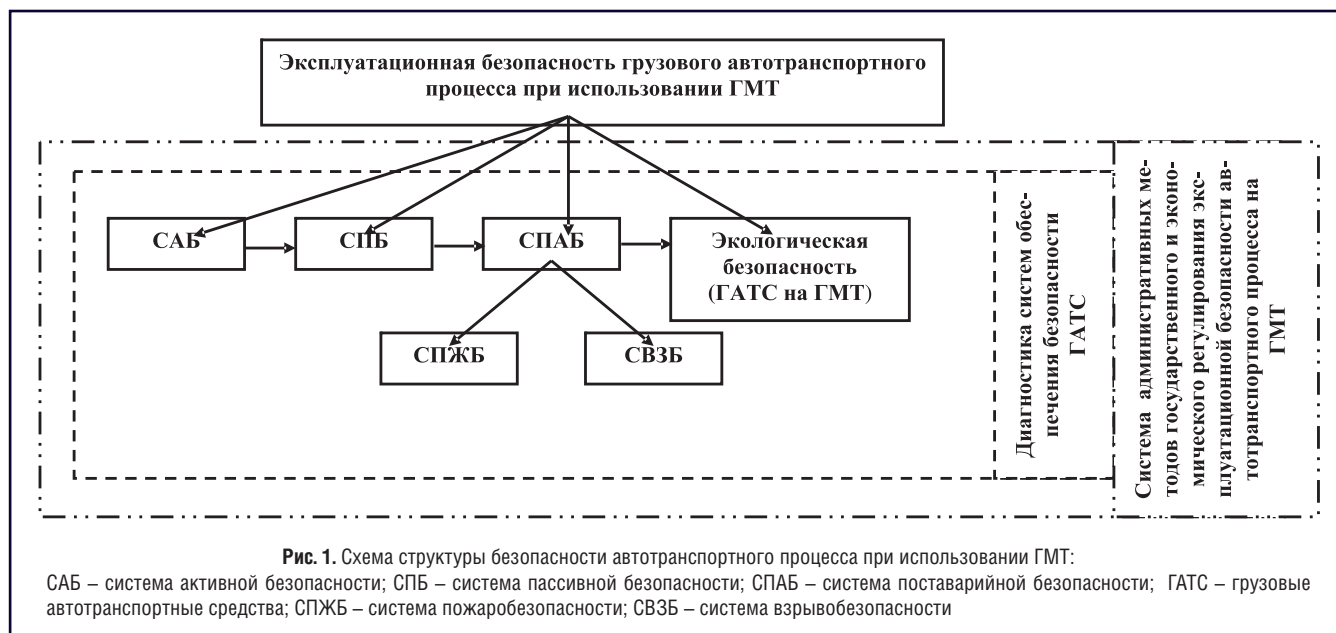
На основе вышесказанного по безопасности грузового АТС, использующего ГМТ, с учетом основных положений, изложенных в регламентациях активной и пассивной безопасности автотранспортных средств [4], выведена структура формирования эксплуатационной безопасности на стадии проектирования (рис. 1).

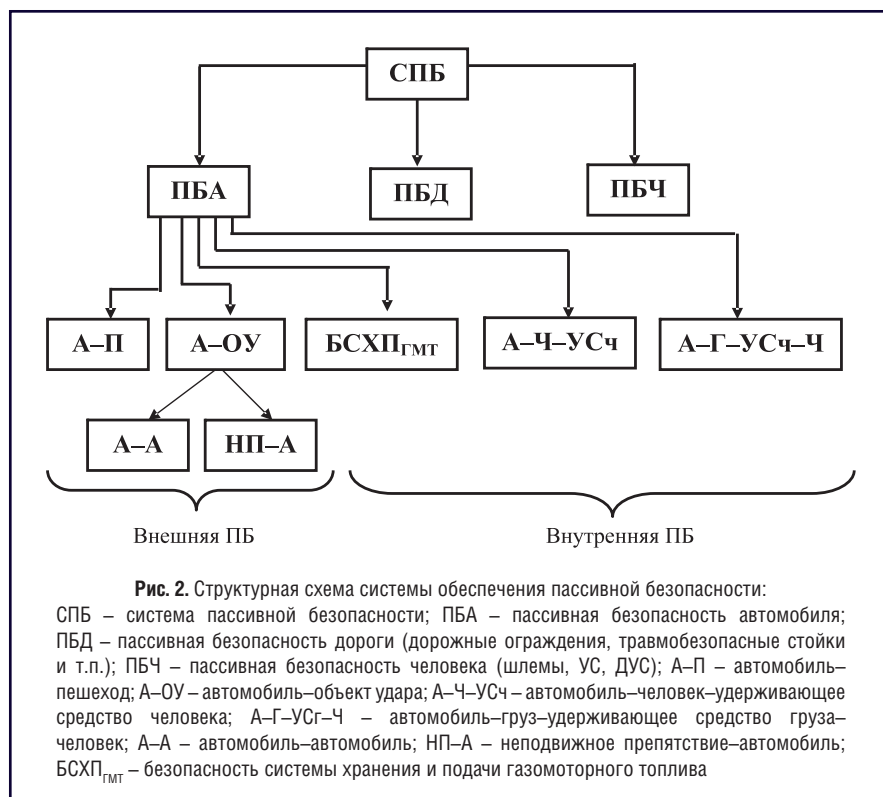
Система обеспечения пассивной безопасности (рис. 2) комплекса человек–автомобиль–дорога–среда

включает пассивную безопасность человека (водитель, пассажир, пешеход), транспортного средства, дороги [4] и регламентируется комплексом Правил ЕЭК ООН № 29, 58, 61, 73 (см. табл. 1).

Таким образом, для использования водорода в качестве моторного топлива грузовыми автотранспортными средствами необходимо:

1. Систематизировать регламентирующие требования к грузовым АТС по активной, пассивной безопасности и пожаровзрывобезопасности.
2. Разработать методологические основы проектирования кузовов, кабин по условиям обеспечения их безопасности и несущей способности при использовании ГМТ, в том числе и водорода.
3. Систематизировать методы расчета несущей способности кузовов и кабин с учетом особенностей компоновочно-конструкторских схем систем хранения и подачи ГМТ.
4. Получить аналитические зависимости разрушающих нагрузок от конструктивных параметров компоновочно-конструкторских схем систем хранения ГМТ для характерных силовых схем кузовных конструкций.





5. Выполнить комплексную оценку безопасности, несущей способности рассматриваемого семейства кузовных конструкций для выявления закономерностей их работы в упругой и упруго-пластической фазе, а также для повышения несущих свойств.

6. Провести экспериментальную проверку разработанных теоретических положений, принятых гипотез и допущений, оценку адекватности выбранных расчетных моделей реальным конструкциям.

7. Разработать комплекс оборудования для специальных испытаний

компоновочно-конструкторских схем систем хранения водорода на ГАТС и методологию их проведения с учетом:

- процесса ортопараконверсии в жидком водороде и объема окружающего пространства;
- особенностей теплообмена в транспортных криогенных сосудах;
- особенностей обеспечения взрывобезопасности при выбросе водорода из топливных сосудов и магистралей в эксплуатационных условиях с расходами более 0,5 кг/с за счет осуществления его дожигания или сбрасывания в атмосферу при меньших расходах.

8. Проанализировать риски эксплуатации грузовых автомобилей, автобусов и мусоровозов, работающих на КПГ и водороде, смоделировать сценарии развития аварий и связанные с ними опасные последствия в условиях автотранспортного процесса РФ.

9. Оценить риски эксплуатации грузовых автомобилей, автобусов и мусоровозов, работающих на КПГ и водороде, сравнить их с дизельными аналогами в подобных ситуациях в условиях автотранспортного процесса РФ.

## Литература

1. **Русаков В.З.** Безопасность автотранспортных средств в эксплуатации: автореферат на соискание ученой степени д.т.н. – М., 2005 г.
2. **Рябчинский А.И.** Правила № 29 ЕЭК ООН нуждаются в переработке. Факты. История вопроса // Автомобильная промышленность. – 2005. – № 1. – С. 35-37.
3. **Исхаков Х.И. Пахомов А.В.** Пожарная безопасность автомобиля. – М.: Транспорт, 1987. – С. 87.
4. **Рябчинский А.И.** Регламентация активной и пассивной безопасности автотранспортных средств, учеб. пособ. / А.И. Рябчинский, В.В. Кисуленко, Т.Э. Морозова. – М.: Издательский центр «Академия», 2006. – 432 с.
5. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности. Федеральный закон № 123-ФЗ от 22 июля 2008 г.
6. Технический регламент о безопасности оборудования для работы во взрывоопасных средах. Утвержден

Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 февраля 2010 г. № 86.

7. Технический регламент о безопасности сетей газораспределения и газопотребления. Утвержден Постановлением Правительства Российской Федерации от 29 октября 2010 г. № 870.

8. Технический регламент о безопасности машин и оборудования. Утвержден Постановлением Правительства Российской Федерации от 15 сентября 2009 г. № 753.

9. Технический регламент о безопасности аппаратов, работающих на газообразном топливе. Утвержден Постановлением Правительства Российской Федерации от 11 февраля 2010 г. № 65.

10. **Коноплев В.Н.** Научные основы проектирования автотранспортных средств, работающих на газомоторных топливах: дисс. на соискание уч. степени д.т.н. – М.: ФГУП «НАМИ», 2007. – 354 с. с ил.

## Легковой автомобиль с комбинированной энергосиловой установкой

**Н.М. Филькин,**

профессор ГОУ ВПО «Ижевский государственный технический университет», д.т.н.,

**В.А. Умняшкин,**

профессор ГОУ ВПО «Ижевский государственный технический университет», д.т.н.,

**Р.С. Музафаров,**

доцент, зав. кафедрой ГОУ ВПО «Ижевский государственный технический университет», к.т.н.,

**В.К. Мазец,**

аспирант ГОУ ВПО «Ижевский государственный технический университет»

Авторами рассмотрены электромеханические передачи с двумя двигателями, работающими на один ведомый вал. Такие передачи получают все большее развитие в связи с появлением автомобилей с гибридными силовыми агрегатами (тепловой двигатель + электродвигатель + накопитель энергии). Анализируются результаты теоретических и экспериментальных исследований.

**Ключевые слова:** электромеханическая передача, гибридный автомобиль, комбинированная энергетическая установка, мощный поток.

## A prototype car with combined energy-power installation

**N.M. Filkin, V.A. Umnyashkin, R.S. Muzafarov, V.K. Mazets**

The authors consider electromechanical transmissions with two motors driving one and the same shaft. Such are the object of active development in connection with motor vehicles with hybrid power units (thermal engine + electric motor + storage of energy). The results of theoretical and experimental researched are given. The result of theoretical studies and experimental research are analyzed.

**Keywords:** electromechanical transmission, hybrid motor vehicle, combined power installation, power flow.

**К**онструктивно комбинированная энергосиловая установка (КЭСУ) может быть выполнена по параллельной, последовательной или смешанной компоновочным схемам теплового (ТД) и электродвигателя (ЭД) [1]. При последовательной схеме привод колес автомобиля осуществляется

только от ЭД. ТД, работающий в наиболее экономичном режиме, вращает генератор, от которого одна часть электроэнергии направляется через регулируемую аппаратуру в накопитель электроэнергии, а другая через ЭД поступает на ведущие колеса. Недостатком данной схемы является

многократное преобразование энергии – вначале тепловой энергии в механическую в ТД, затем механической энергии в электрическую в генераторе. Далее одна часть электрической энергии преобразуется в механическую в ЭД, а другая дополнительно преобразуется из электрической в электрохимическую в накопителе и при необходимости подается на ЭД.

В данной конструктивной схеме можно получить хорошие показатели экологичности, но проблематично значительно повысить топливную экономичность автомобиля.

Проведенный анализ показал, что для получения наилучших показателей топливной экономичности наиболее целесообразно создавать КЭСУ по параллельной конструктивной схеме, когда крутящий момент от ТД и ЭД в зависимости от режимов и условий движения может передаваться к ведущим колесам как суммарно, так и раздельно. При движении автомобиля в режиме замедления и торможения или с постоянной скоростью ЭД переводится в режим генератора для подзарядки накопителя электроэнергии, то есть в составе КЭСУ ЭД работает как электрическая машина [1, 2].

При создании автомобиля с КЭСУ уже на начальном этапе проектирования встает вопрос обоснованного выбора мощностных характеристик ТД и ЭД и конструктивных параметров трансмиссии. До настоящего времени практически отсутствует методика расчета этих параметров и характеристик и соответствующие рекомендации.

Следует отметить, что многие автомобильные фирмы находятся на стадии поисковых опытно-конструкторских исследований и при создании автомобилей с КЭСУ используют принцип конвертации, заменяя серийный ТД разработанной КЭСУ.

Для обоснования базовых параметров разрабатываемой КЭСУ необходимо проводить расчетные исследования показателей тягово-

скоростных свойств и топливной экономичности автомобиля, анализируя влияние варьируемых основных параметров КЭСУ на указанные показатели эксплуатационных свойств автомобиля. Для реализации данного подхода разработаны соответствующие математические модели движения автомобиля с КЭСУ, а также расчета показателей тягово-скоростных свойств и топливной экономичности для различных режимов эксплуатации [3], которые положены в основу разработанного комплекса программных средств для ПЭВМ [4]. Основой выполняемых расчетов являются требования к тягово-скоростным свойствам и топливной экономичности, заложенные в техническом задании на создаваемый автомобиль с КЭСУ, а также конструктивные параметры и характеристики автомобиля, на котором будет установлена КЭСУ.

На начальном этапе проектирования рассчитанные и обоснованные для автомобиля с КЭСУ параметры ТД и ЭД использовались для формулирования технического задания на разработку этих двигателей. Отметим, что возможен выбор приемлемых двигателей среди уже разработанных и выпускаемых в настоящее время.

После выбора или разработки ТД и ЭД экспериментальные исследования позволяют построить семейства скоростных и нагрузочных характеристик для ТД, а расчетно-экспериментальные исследования по управлению ЭД – определить семейство скоростных характеристик для ЭД. Эти расчетно-экспериментальные данные используются для моделирования на ПЭВМ показателей производительности и экономичности машины гибридного типа с целью продолжения работ по оптимизации параметров трансмиссии и управления работой ЭД и ТД. Расчет оптимальных передаточных чисел трансмиссии при других заданных параметрах и характеристиках автомобиля и КЭСУ проводится так же, как и для машины,

оборудованной только одним тепловым двигателем [5].

Управлять работой КЭСУ должна пускорегулирующая аппаратура и электронный блок. Для реализации наиболее рациональных режимов работы КЭСУ были проведены расчетные исследования. При этом в качестве основных требований к системе управления КЭСУ были выбраны требования экологии и топливной экономичности, а именно:

- на малых скоростях автомобиль движется на аккумуляторных батареях;
- на квазиустановившихся режимах и при разгонах на высоких частотах вращения вала ТД (электрическая часть энергетической установки отключена) автомобиль движется на ТД;
- при движении на ТД на квазиустановившихся режимах параллельно идет зарядка аккумуляторных батарей (ЭД работает в режиме генератора);
- разгон автомобиля осуществляется на ТД и ЭД;
- при торможении и замедлении происходит рекуперация энергии (ЭД работает в режиме генератора).

В рассматриваемых режимах движения исследуемого автомобиля должны выполняться следующие условия.

При замедлении, торможении и движении накатом с отрицательным ускорением менее  $0,2 \text{ м/с}^2$  подача топлива в ТД прекращается, а при ускорении на тех же режимах движения должна включаться система рекуперации энергии. При этом ТД не работает, так как нет подачи топлива, и он отключен автоматическим сцеплением от ЭД. При движении с низкими скоростями подача топлива в ТД также должна быть перекрыта, что позволит исключить работу ТД на этих неэкономичных и токсичных режимах. При введении в конструкцию автоматического сцепления ТД вообще нужно отключать. Отметим, что с точки зрения токсичности

желательно отключать ТД при движении со скоростями до  $30 \dots 40 \text{ км/ч}$ .

ЭД имеет высокий крутящий момент при малых частотах вращения вала, что может приводить к нарушению сцепления шин ведущих колес с полотном дороги.

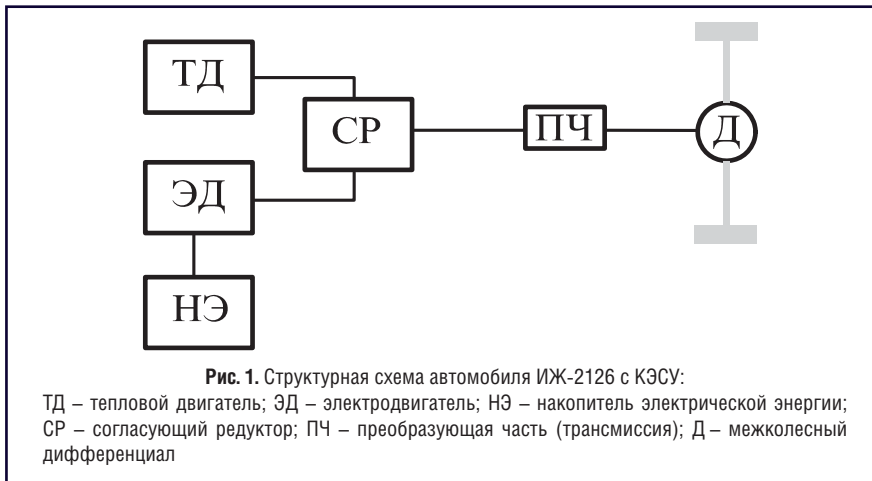
При движении на квазиустановившихся режимах на высоких скоростях должна идти зарядка аккумуляторных батарей. Необходимость начала и окончания зарядки аккумуляторных батарей в данных режимах движения должна контролироваться системой управления в зависимости от степени заряженности накопителей электрической энергии.

В рассматриваемой комбинированной энергетической установке целесообразно отключать ЭД при частоте вращения его вала более  $4150 \text{ мин}^{-1}$ , так как количество энергии, подводимой от ЭД, резко уменьшается при движении на более высоких частотах вращения вала.

Разгон автомобиля желательно осуществлять при работе рассматриваемого типа ТД на режимах наивысшей топливной эффективности, то есть примерно при 85-90%-ном открытии дроссельной заслонки. На остановках система управления должна отключать ЭД (ТД будет отключен раньше в начале процесса торможения-замедления). Вспомогательное оборудование при этом должно работать от накопителя электрической энергии.

Анализ расчетных исследований по выбору наиболее рационального способа управления энергетическими установками позволил сформулировать требования к рабочему состоянию ТД и ЭД в зависимости от контролируемых параметров в процессе движения автомобиля.

В общем случае решить сложную проблему создания автомобиля с КЭСУ возможно только за счет применения методов математического моделирования и моделирования на ПЭВМ режимов работы отдельных



частей КЭСУ (электронный блок, тепловой и электрический двигатели и др.) при работе автомобиля на различных режимах движения с целью выбора оптимальных параметров и характеристик КЭСУ.

Проведенный анализ публикаций и выполненные исследования позволили формализовать процесс расчета оптимальных параметров и характеристик КЭСУ и управления ею, записав его в виде конечной последовательности необходимых работ для получения оптимального решения, то есть в виде методики, инвариантной по отношению к типу проектируемой машины с КЭСУ, которая предусматривает следующий алгоритм:

- разработка математической модели автомобиля, оборудованного КЭСУ;
- обоснование выбора множества частных критериев оптимальности параметров и характеристик КЭСУ и трансмиссии;
- анализ априорной информации для обоснования критериальных ограничений и ограничений оптимизируемых параметров и характеристик;
- разработка программных средств расчета показателей производительности и экономичности (частные критерии) машины;
- реализация на ПЭВМ многокритериального метода поиска оптимального решения по множеству частных критериев оптимальности;

- расчет внешней скоростной характеристики ТД по требованиям к показателям производительности при работе КЭСУ на высоких частотах вращения ее выходного вала;

- расчет внешней скоростной характеристики ЭД по расчетной внешней характеристике ТД и требованиям к показателям производительности при работе КЭСУ на малых и средних частотах вращения ее выходного вала;

- предварительные расчетные исследования по обоснованию логики управления КЭСУ для реализации ее в электронном блоке;

- предварительный расчет передаточных чисел трансмиссии по множеству частных критериев оптимальности;

- разработка и изготовление ТД и ЭД с учетом расчетных внешних характеристик;

- экспериментальные исследования ТД для построения

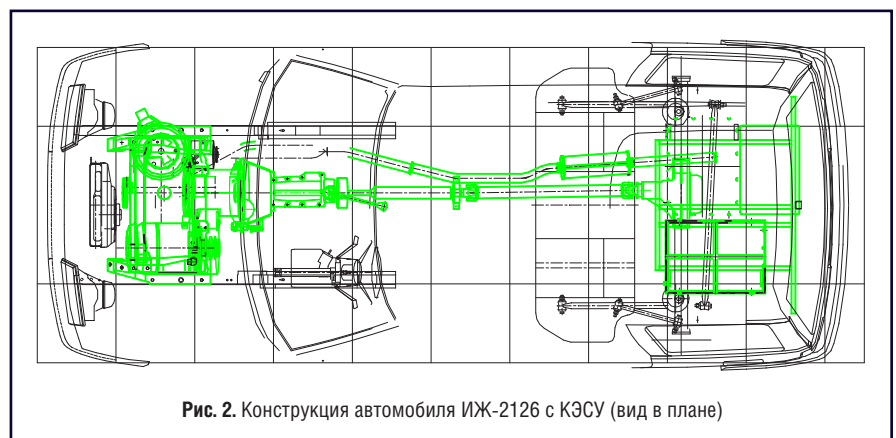
многопараметрового семейства его нагрузочных характеристик;

- создание системы управления ЭД на основе анализа реальной внешней скоростной характеристики разработанного ЭД и требований к показателям производительности и экономичности автомобиля;

- построение семейства нагрузочных характеристик в соответствии с логикой управления ЭД;

- окончательный расчет оптимальных параметров трансмиссии для разработанной КЭСУ и логики управления ею по множеству частных критериев оптимальности.

Теоретические и расчетные исследования позволили создать автомобиль с КЭСУ на основе автомобиля ИЖ-2126 [6, 7]. В соответствии с техническим заданием автомобиль должен иметь скорость не менее 110 км/ч, для чего мощность, подводимая от ТД к ведущим колесам автомобиля ИЖ-2126, должна составлять не менее 19 кВт. Для обеспечения приемлемой динамики разгона в городских условиях максимальная мощность, подводимая от ЭД к ведущим колесам в режиме разгона автомобиля ИЖ-2126, равна около 10 кВт при скоростях 40...50 км/ч. При этом необходимая масса никель-кадмиевых аккумуляторных батарей примерно составляет 110 кг, а свинцово-кислотных 124 кг. Для ускорения работ по созданию автомобиля с КЭСУ на базе ИЖ-2126 были выбраны двигатели с характеристиками, близкими



к расчетным. В качестве ЭД взят электродвигатель постоянного тока ПТ-125-12 (напряжение питания якоря 120 В при токе якоря не более 120 А, крутящий момент 49 Н·м), а в качестве ТД – маломощный двигатель ВА3-1111 (номинальная мощность 20 кВт, максимальный крутящий момент 44,1 Н·м).

Основные теоретические и расчетные исследования были реализованы в экспериментальном образце легкового автомобиля типа 4×2 ИЖ-2126 с КЭСУ (рис. 1). Для согласования частот вращения валов были соединены между собой ТД и ЭД через согласующий редуктор.

Движение автомобиля с постоянными и близкими к ним скоростями в данном случае осуществляется за счет энергии, передаваемой к ведущим колесам по цепи ТД – СР – ПЧ – Д. Во время динамичного разгона к ведущим колесам поступает дополнительная энергия по цепи НЭ – ЭД – СР – ПЧ – Д. При необходимости зарядки НЭ в режиме движения с установившимися и близкими к ним скоростями происходит зарядка накопителя энергии по цепи ТД – СР – ЭД – НЭ, то есть ЭД переходит в режим работы генератора. Движение накатом и торможение сопровождаются рекуперацией кинетической энергии в энергию НЭ по цепи Д – ПЧ – СР – ЭД – НЭ.

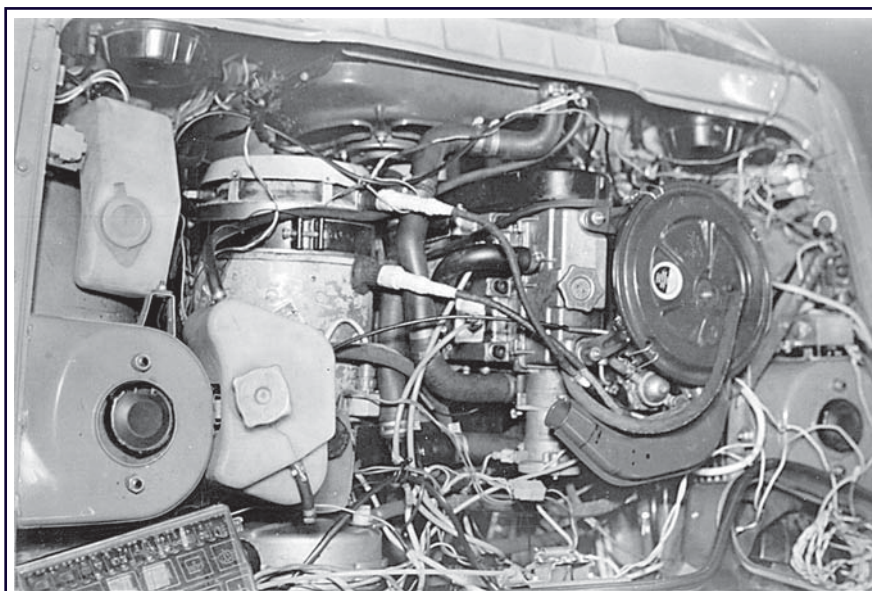


Рис. 3. Размещение КЭСУ в подкапотном пространстве автомобиля ИЖ-2126

Экспериментальный образец гибридного автомобиля ИЖ-2126 (рис. 2, 3) с КЭСУ (рис. 4, 5) проходил испытания на токсичность на тормозном стенде с беговыми барабанами фирмы «Шенк» (Германия). Выбросы вредных веществ с отработавшими газами определялись с использованием газоанализатора МЕХА 2200 фирмы «Хориба» (Япония) по методике ОСТ 37.001.054–86 и ГОСТ 17.2.2.03–87. Существующие требования по выбросу вредных веществ с отработавшими газами предусматривают испытания автомобиля при работе двигателя на холостом ходу и в ездовом цикле (табл. 1).

При испытаниях на топливную экономичность расход топлива фиксировался расходомером PIERBURG. Для определения расхода топлива автомобиль ИЖ-2126, оборудованный КЭСУ, был оснащен датчиком расхода топлива, который был установлен в подкапотном пространстве и последовательно подключен к топливоподающей магистрали автомобиля с помощью специальных шлангов. Указатель расхода топлива был установлен на панели приборов автомобиля.

Расход топлива в городском режиме движения (заезды № 1, 2, 3)

Таблица 1

Результаты испытаний автомобиля ИЖ-2126 с КЭСУ на холостом ходу

| Частота вращения вала двигателя | Объемная доля оксида углерода (СО), % |                          | Содержание углеводородов (СН), млн <sup>-1</sup> |                          |
|---------------------------------|---------------------------------------|--------------------------|--|--------------------------|
|                                 | предельно допустимая                  | по результатам испытаний | предельно допустимое                             | по результатам испытаний |
| Малая                           | 1,5                                   | 0,6                      | 1200   | 240                      |
| Средняя                         | 2,0                                   | 1,3                      | 600  | 110                      |

Таблица 2

Результаты испытаний серийного автомобиля ИЖ-2126 и автомобиля ИЖ-2126 с КЭСУ на топливную экономичность

| Номер заезда | Время в пути, мин | Средняя скорость движения, км/ч | Эксплуатационный расход топлива в городских условиях движения, л/100 км |         |
|--------------|-------------------|---------------------------------|---|---------|
|              |                   |                                 | Автомобиль с КЭСУ   | ИЖ-2126 |
| 1            | 80                | 30,07                           | 6,9   | 9,8     |
| 2            | 85                | 28,57                           | 7,08  | 9,88    |
| 3            | 88                | 27,2                            | 7,15  | 9,9     |

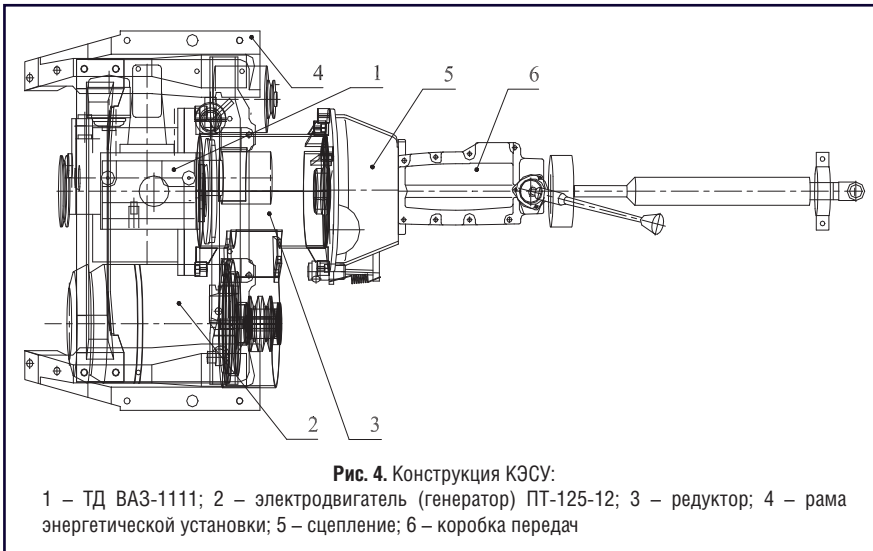


Рис. 4. Конструкция КЭСУ:

1 – ТД ВАЗ-1111; 2 – электродвигатель (генератор) ПТ-125-12; 3 – редуктор; 4 – рама энергетической установки; 5 – сцепление; 6 – коробка передач

определялся в г. Ижевске на специальном маршруте, принятом испытателями ОАО «ИжАвто» для испытаний опытных образцов автомобилей. Этот маршрут имеет протяженность 40 км и включает в себя улицы с наиболее интенсивным движением транспорта, большим числом светофоров, подъемов и спусков. Время в пути у серийного автомобиля ИЖ-2126 и автомобиля ИЖ-2126 с КЭСУ одинаковое, так как участок трассы длиной 40 км они преодолевали одновременно.

Анализ результатов экспериментальных исследований (табл. 2) показал, что расход топлива автомобиля с

разработанной КЭСУ по сравнению с базовым автомобилем ИЖ-2126 в городском режиме движения уменьшается на 25...30 %. Автомобиль обеспечивает максимальную скорость движения, заложенную в техническом задании. Испытания в городе показали хорошую способность гибридного автомобиля набирать скорость и вписываться в движущийся поток.

Конструкция КЭСУ выполнена с возможностью движения в режиме электромобиля при неработающем ТД. Максимально возможная скорость движения в этом режиме равна примерно 50 км/ч.

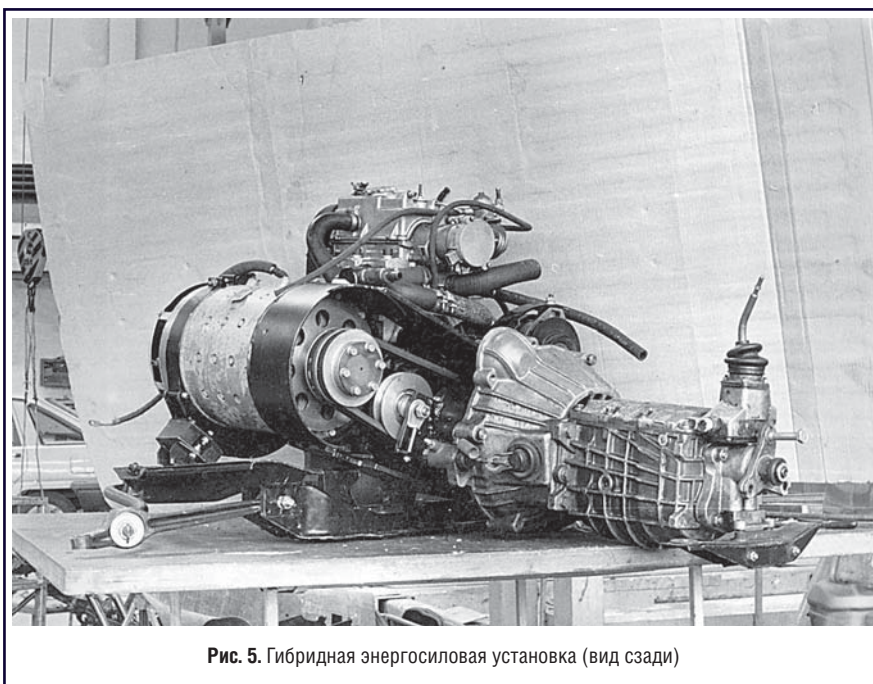


Рис. 5. Гибридная энергосиловая установка (вид сзади)

## Литература

1. Кондрашкин А.С., Филькин Н.М., Ардашев В.М., Мезрин В.Г., Сальников В.Ю. «Иж» с комбинированной силовой установкой // Автомобильная промышленность. – 1997. – № 11. – С. 7-9.

2. Кондрашкин А.С., Филькин Н.М., Мезрин В.Г., Сальников В.Ю. Легковой автомобиль с гибридной силовой установкой. Результаты экспериментов // Автомобильная промышленность. – 2001. – № 11. – С. 9-10.

3. Умняшкин В.А., Филькин Н.М. Динамика комбинированных энергосиловых установок машин // Вестник Уральского межрегионального отделения Российской академии транспорта. – 1998. – № 1. – С. 4-10.

4. Филькина А.Н., Филькин Н.М. Комплекс программных средств автоматизированного исследования топливной экономичности, тягово-скоростных свойств и оптимизации параметров трансмиссии транспортных машин TRANSMIT / Материалы Всероссийской молодежной научно-практической конференции «Инновации в науке, технике, образовании и социальной сфере». – Казань: Издательство «Экоцентр», 2003. – С. 126.

5. Кондрашкин А.С., Умняшкин В.А., Филькин Н.М. Методика расчета передаточных чисел трансмиссии легкового автомобиля // Автомобильная промышленность. – 1986. – № 2. – С. 16-17.

6. Создание автомобиля с гибридной энергетической установкой, состоящей из теплового и электрического двигателей: заключительный отчет о научно-исследовательской работе, выполненной в рамках договора с Московским государственным техническим университетом «МАМИ». Номер государственной регистрации НИР: ВНТИЦ, 0120.0 600198 / Ижевский государственный технический университет; руководитель работы В.А. Умняшкин. – Ижевск: ИжГТУ, 2005. – 257 с.

7. Разработка методик структурной и параметрической оптимизации комбинированных (гибридных) энергосиловых установок транспортных средств: заключительный отчет (4-й этап) о научно-исследовательской работе, выполненной в рамках аналитической ведомственной целевой программы «Развитие научного потенциала высшей школы (2009-2010 годы)». Номер государственной регистрации НИР: ВНТИЦ, 01.2.00 901933 / Ижевский государственный технический университет; руководитель работы Н.М. Филькин. – Ижевск: ИжГТУ, 2010. – 147 с.



*Это интересно знать*

## Электромобиль «Рапан»

**М.И. Маркиев,**  
ведущий конструктор-дизайнер ООО НТЦ «МЕТА»,  
**А.Ю. Гайдук,**  
директор ООО НТЦ «МЕТА»

Рассказано об истории создания в НТЦ ОАО «АВТОВАЗ» электромобиля-концепта «Рапан», представленного на парижском салоне в 1998 г.

## Electric vehicle «Rapan»

**M.I. Markiyev, A.Yu. Gayduk**

**Э**лектромобиль, как транспортное средство, имеет специфические особенности, которые обязательно необходимо учитывать при проектировании. Большую роль играет компоновка их основных узлов и агрегатов. Различие компоновочных решений определяется положением центра тяжести основных элементов, имеющих значительную массу.

Основным элементом, влияющим на управляемость транспортного средства, является размещение аккумуляторной батареи. В мире у основных разработчиков электромобилей уже сложились варианты компоновок, определяющие специфическое применение электромобилей.

Рассмотрим преимущества и недостатки компоновок легковых и грузовых электромобилей. Основными являются две компоновки.

Первая – размещение батареи за базой транспортного средства



(ТС) в переднем и заднем контейнерах (рис. 1).

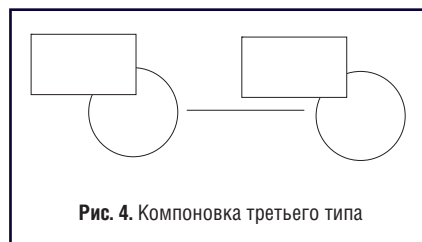
Такая компоновка применима только для легкового электромобиля, где в базе размещены пассажиры. Она дает максимальную плавность хода и хорошую управляемость при различной наполняемости ТС, однако абсолютно не применима для грузового транспорта, где необходимо учитывать дополнительные требования по ограничению продольных габаритных размеров и высоты погрузки. Такая компоновка была применена впервые на электромобиле ВАЗ 1801 (рис. 2).



Для грузового ТС наиболее выгодным является использование второго вида компоновки – размещение батареи в базе ТС (рис. 3).



Перемещение батареи в пределах базы дает возможность регулировать нагрузку на заднюю ось для увеличения грузоподъемности, однако имеет и обратную сторону – при разгруженном ТС возникает опасность неуправляемого заноса задней оси. Такая компоновка была применена в электромобилях ВАЗ 2702 и ВАЗ 2802.



Возможен и третий тип компоновки – комбинированный (рис. 4), когда передний контейнер батареи размещен за передней осью, а задний – в базе ТС. Такой способ компоновки наиболее применим для конвертируемых из автомобильных кузовов электромобилей.

Такую компоновку имеют электромобили ВАЗ 2801, ВАЗ 1111Э, ВАЗ 2109Э, ВАЗ 2121Э и ELLADA (рис. 5).

Существует и обратная комбинированная компоновка (рис. 6).





Впервые такая компоновка была применена на электромобиле EV1, да и сейчас применяется на гибридах General Motors – AMPERA и VOLT. Если на гибридах с передним расположением силового агрегата такая схема работает неплохо (силовой агрегат имеет массу, соизмеримую с массой батареи), то электромобиль с такой компоновкой (TESLA, FLUENCE) имеет избыточную управляемость, что чревато потерей курсовой устойчивости с заносом передней оси на скользкой дороге.



Анализ компоновок позволяет сделать вывод, что идеальной для электромобиля была бы компоновка, при которой масса батареи и силовых агрегатов распределялась равномерно по всей платформе ТС и не влияла на компоновку салона и кузова (рис. 7).

Такой вариант компоновки был задуман и воплощен в электромобиле-концепте «Рапан» (рис. 8).



«Рапан» – один из тех концептуальных проектов, которые являются своего рода знаковыми проектами научно-технического центра ОАО «АВТОВАЗ». В непростые для завода времена появление этого необычного электромобиля на Парижском автосалоне 1998 г. произвело по сути эффект разорвавшейся бомбы – настолько футуристическим оказался этот концепт среди других экспонатов автосалона.

Экстерьер кузова был разработан ведущим дизайнером проекта Владимиром Плешановым. В числе авторов интерьера этого проекта дизайнеры Валентина Новикова и Илья Жарков. В результате получилась интересная форма, напоминающая морскую раковину. Отсюда и название – «Рапан». Интерьер отличался смелыми решениями. Например, поворотная рулевая колонка, внутри руля – щиток приборов (рис. 9).

Что же технически представляет собой «Рапан»?

Это трехдверный однообъемник, рамный, с приводом на передние колеса. На стальной раме типа «активная платформа» были установлены передняя и задняя подвески, рулевое управление и тормозная система. Никель-кадмиевая аккумуляторная батарея НКП-120 емкостью 120 А·ч располагалась в контейнерах внутри рамы. Электродвигатель ПТ-125 с редуктором установлен на передней оси, транзисторная система управления электроприводом размещена рядом с аккумуляторной батареей. Закрепленный на раме кузов сделан каркасным с навесными пластмассовыми панелями. Пол высокий, ровный, без выступающих порогов и тоннеля. Остекление кузова очень эффектное и многофункциональное

с прекрасным круговым обзором, на дверях имеются дополнительные парковочные окна.

Еще одна немаловажная деталь. Электромобиль имел совершенно инновационную по тем временам светотехнику. Дизайн передних блок-фар и задних фонарей в то время обращал на себя внимание своей новизной, что было отмечено



в прессе. Не исключено, что стилевое решение светотехники «Рапана» было скопировано позже на автомобилях «Форд», «Пежо», «Ситроен» и сегодня превалирует почти на всех современных автомобилях.

Представление концепт-кара «Рапан» на автосалоне Париж–98 убедительно продемонстрировало высокий технический и творческий потенциал Волжского автомобильного завода. Из нескольких тысяч экспонатов автосалона «Рапан» попал в престижный список рекомендуемых к просмотру объектов. Французы отметили, что открыт новый типаж автомобиля, который был определен как городской, хорошо остекленный, с трансформируемым интерьером и возможностью двигаться на электротяге.

## Вклад в экологическое будущее

18 сентября 2012 г. на 26-м км МКАД состоялся торжественный ввод в эксплуатацию станции быстрой зарядки для электротранспорта на территории одной из автозаправочных станций сети ЕКА-АЗС. Впервые в России зарядные станции начнут работу на территории АЗС.



Открытие АЗС

К участию в мероприятии были приглашены заместитель министра энергетики правительства Московской обл. М.А. Тимофеев, заместитель главы Ленинского муниципального р-на Московской обл. П.С. Брагин,

начальник отдела инновационной инфраструктуры департамента науки, промышленной политики и предпринимательства Москвы С.Р. Марданов, генеральный директор ООО «ЕКА-АЗС» Д.Е. Гуськов, заместитель

директора ОАО «МОЭСК» Д.Ю. Цыплев, генеральный директор компании «Революта» М.П. Осорин и президент Российского топливного союза Е.А. Аркуша.

К этому событию было приурочено и открытие в новом архитектурно-дизайнерском оформлении первой АЗС «ЕКА», где будет работать заправочный модуль для электротранспорта. Новый современный дизайн выгодно отличает автозаправочные станции «ЕКА» от АЗС других компаний, он интересен цветовым решением, эргономичностью и легко запоминается.

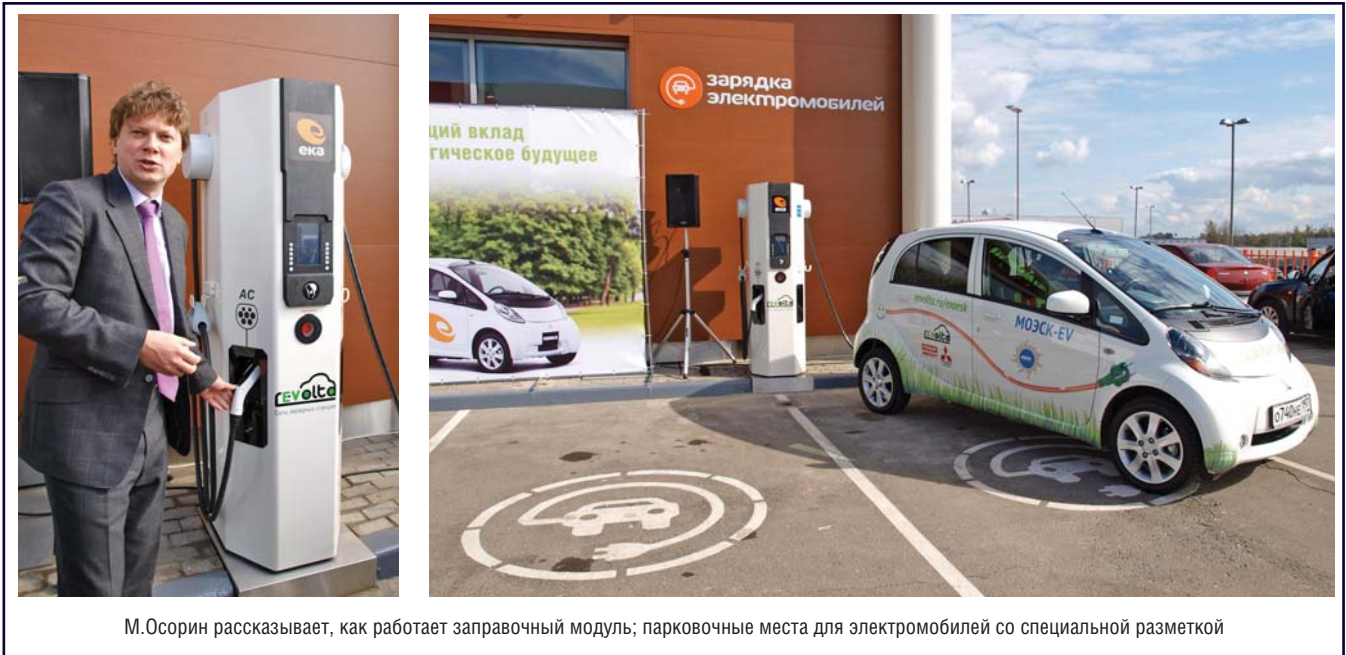
В рамках мероприятия был проведен торжественный запуск станции быстрой зарядки напольного монтажа французской компании DBT.

Установленная станция имеет возможность работать в двух режимах – Mode 3 (мощность до 43 кВт) и Mode 4 (мощность до 50 кВт), осуществляя быструю и стандартную зарядку электромобиля. Использование режима Mode 4 позволит зарядить электротранспорт менее чем за 30 мин. Этот режим наиболее привлекателен для АЗС, где водители могут быстро зарядить батареи своего электромобиля.

Участники церемонии продемонстрировали работу новой станции,



Новый фирменный стиль АЗС «ЕКА»



М.Осорин рассказывает, как работает заправочный модуль; парковочные места для электромобилей со специальной разметкой

рассказали о планах развития рынка электротранспорта.

Так, Дмитрий Гуськов отметил, что «ЕКА-АЗС» ставит перед собой цель обеспечивать потребителей качественным топливом класса Евро-4 и Евро-5, поскольку это является основной сферой деятельности компании. Однако широкое внедрение электротранспорта в городскую среду требует развития соответствующей инфраструктуры. Поэтому в планах компании в ближайшее время – установка еще четырех станций быстрой зарядки для электротранспорта на собственных АЗС на Ленинском и Кузцовском проспектах.

Павел Брагин рассказал о том, что правительство Ленинского р-на уделяет большое внимание экологии этого региона Московской обл. и очень заинтересовано в снижении вредных выбросов от автотранспорта в атмосферу. А выступление президента Российского топливного союза Е.Аркуши запомнилось участникам мероприятия интересным каламбуром: «Открытие этой станции – это вклад в ЕКАлогическое будущее страны».

Открытием станции для заправки электротранспорта завершён первый этап в развитии этого важнейшего сегмента топливно-заправочного

рынка, подчеркнул Денис Цыпулев. В разговоре с журналистами он привел некоторые цифры, характеризующие состояние дел в заправочной инфраструктуре для электротранспорта. Так, на сегодняшний день подавляющее большинство электрозаправочных станций находится в Москве и Московской обл. – здесь насчитывается вместе с вновь открытой 48 станций. Из них только четыре станции, включая и новую, производят быструю заправку. В остальных же регионах Российской Федерации электрозаправочных станций – единицы, не говоря уже о станциях быстрой зарядки для электротранспорта!

Генеральный директор «Революты» Максим Осорин привел интересные подробности о новой станции. Для зарядки электротранспорта на новой

АЗС отведено два парковочных места с соответствующей разметкой. Стоимость 20 мин зарядки составляет 200 руб. Для сравнения цена 20-минутной зарядки в Европе – 5 евро, в США – 5-6 долл. Легко подсчитать, что цены вполне сопоставимы. Оплатить заправку можно не только наличными, но и специальной карточкой, которую можно получить через интернет или в компании. Максим Осорин подробно показал присутствовавшим, как пользоваться электрозарядным устройством.

В заключение мероприятия были посажены молодые деревья на территории новой АЗС. Новые деревца стали символом роста компании, ее стремления заботиться об окружающей среде, внося свой вклад в развитие альтернативных источников энергии для автотранспорта.

### Справка

Топливная компания «ЕКА» – крупнейшая независимая, динамично развивающаяся компания, работающая на рынке реализации нефтепродуктов с 1997 г. «ЕКА» является владельцем 58 АЗС, расположенных на территории Москвы и Московской обл. Доля компании по числу АЗС на московском топливном рынке составляет 8,4 %.

Компания «Революта» – первая в России высокотехнологичная компания, работающая в сфере электротранспорта и зарядной инфраструктуры. Она развивает собственную сеть зарядных станций «Revolta», а также реализует комплексные проекты в области электротранспорта. В настоящее время в сети «Revolta» работают 44 зарядные станции, расположенные в Москве и Московской обл. «Революта» является официальным импортером коммерческих электромобилей Smith Electric Vehicles на территории РФ и СНГ.

Обе компании ведут активную деятельность по улучшению экологической ситуации, интегрируя электротранспорт в городскую среду.

## Энергоэффективный автомобильный транспорт будущего

В Университете машиностроения (МАМИ) в сентябре 2012 г. прошла международная конференция «Энергоэффективный автомобильный транспорт будущего», которая собрала более 350 участников. На ней также присутствовали представители инжиниринговых компаний, производители автокомпонентов, ученые, студенты.

Конференция была организована ФГУП «НАМИ», МГТУ «МАМИ» при поддержке Министерства образования и науки РФ.



Президиум конференции

электромобиль. В связи с этим рассматриваются учебные планы, добавляются модули по гибриднему приводу и электротранспорту, а также системам повышения энергоэффективности.

Энергоэффективность и энергосбережение входят в пять стратегических направлений приоритетного технологического развития, обозначенных на заседании Комиссии по модернизации и технологическому развитию экономики России. На конференции в МАМИ рассматривались основные тренды и механизмы улучшения энергоэффективности существующего транспорта и создания новых видов энергоэффективного, экологически безопасного транспорта на альтернативных видах энергии.

На пленарном заседании выступили гости конференции: А.Гришин (ООО «AVL») рассказал об инновациях AVL в области накопления энергии и разработок электрифицированных силовых установок транспортных средств, Е.Евдонин (ООО «BOSCH») выделил основные направления своей фирмы по энергоэффективности АТС, А.Эйдинов (зам. директора ФГУП «НАМИ») доложил об инновационных технологиях в автомобилестроении.

Далее работа форума продолжалась по двум секциям – «Энергоэффективность и экология» и «Безопасность». Итоги конференции подвели за круглым столом С.Бахмутов (зам. директора ФГУП «НАМИ» по науке), В.Тимонин (проректор по развитию МАМИ) и др.

По словам А.Эйдинова, даже после 30-х гг. текущего века ДВС будет

Открыл конференцию генеральный директор ФГУП «НАМИ» Нагайцев М.В., отметивший, что сейчас автомобильный рынок России динамично развивается, а финансирование научных и опытно-конструкторских работ заметно возросло. Он также напомнил, что на базе НАМИ создана Технологическая платформа «Зеленый автомобиль», в которую вошли 44 предприятия, в том числе Академия автомобильных технологий.

В своем выступлении ректор Университета машиностроения А.В. Николаенко сказал: «Тема энергоэффективности сегодня выходит на первый план, в том числе в учебных программах подготовки инженеров. Сейчас в МАМИ работает научно-образовательный центр гибридного автотранспорта, запускается проект «Электромобиль». Поэтому университет уже многие годы остается лидером в области инженерного

образования». Он также отметил, что сейчас в МАМИ принята программа развития на три года, и теперь согласно этой программе студенты и аспиранты МАМИ будут сами проектировать свой



На пленарном заседании



Николай Фоменко со своим автомобилем Marussia

основным массовым источником энергии на автомобильном транспорте с той лишь разницей, что бензиновые двигатели окончательно отойдут в прошлое ввиду их низкой энергоэффективности, а основными видами топлива будут дизельное и биодизельное топлива, а также другие альтернативные источники энергии. Для электротранспорта уже сейчас необходимы батареи с энергоемкостью 500 Вт·ч/кг. Это одна из основных проблем развития электротранспорта.

Н.Фоменко, специально приехавший на конференцию в МАМИ для презентации проекта Marussia, рассказал о компании Marussia Motors, президентом которой он является. Он был впечатлен успехами молодых ученых Университета машиностроения. В своем выступлении Н.Фоменко сказал: «Нам нужны молодые кадры. Компания

Marussia Motors открыта для всех, кто хочет работать в автомобильном производстве».

Как известно, МАМИ – это кузница кадров для отечественного и зарубежного автопрома. Здесь готовятся специалисты, за которыми – будущее мирового автомобилестроения. «Надо быть смелым, иногда даже агрессивным, – посоветовал студентам и участникам конференции Н.Фоменко, – это поможет реализовать знания, которые вы получили в стенах этого учебного заведения. Я уверен, что в нашей стране заложены огромные возможности».

В рамках конференции были рассмотрены основные вопросы внедрения энергоэффективного и экологического транспорта на территории Российской Федерации, безопасности, создания инфраструктуры для обслуживания экотранспорта, новейшие разработки в области систем управления, формирования правовой и нормативной базы использования энергоэффективного автомобильного транспорта.

**По материалам сайтов: [http://www.mami.ru/gallery\\_new.php?id\\_alb=196](http://www.mami.ru/gallery_new.php?id_alb=196)  
<http://subscribe.ru/catalog/rss.185374>**



## 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).

**Авторы статей в журнале № 5 (29) 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

**Атраш Рами**,  
аспирант РУДН,  
тел.: 8-926-267-5388;  
e-mail: rami\_alatrach@hotmail.com

**Гайдук Андрей Юрьевич**,  
директор ООО НТЦ «МЕТА»,  
тел. (8482) 53-15-41,  
e-mail: ay.gayduk@mail.ru

**Григорович Дмитрий Николаевич**,  
ведущий научный сотрудник ОАО  
«ВНИИЖТ», к.т.н., (495) 602-84-36,  
8 926 186-32-18, dgrig@ok.ru

**Гуров Михаил Николаевич**,  
зав. лабораторией Московского  
государственного университета  
приборостроения и информатики,  
тел. (926) 764-94-89,  
email: gurov-mn@yandex.ru

**Дельгадильо А.Р.**,  
Боливия, студент РГУ нефти и газа  
им. И.М. Губкина

**Жеваго Николай Константинович**,  
старший научный сотрудник НИЦ  
«Курчатовский институт», д.ф.-м.н.,  
e-mail: nickzhev@me.com

**Зайцев Вячеслав Петрович**,  
генеральный директор  
ОАО «Интеравиагаз»,  
действительный член  
Российской академии космонавтики  
им. К.Э. Циолковского,  
тел.: 8 (903) 700-61-21

**Заручейский Андрей Викторович**,  
зав. отделом ОАО «ВНИИЖТ», к.т.н.,  
р.т. (499) 260-42-02

**Коноплев Владимир Николаевич**,  
д.т.н., профессор кафедры  
«Автомобили и двигатели» МГИУ,

р.т. (495) 6756242,  
e-mail: konopl-v@mail.ru

**Коробцев Сергей Владимирович**,  
директор Института водородной  
энергетики и плазменных технологий  
РНЦ «Курчатовский институт», к.ф.-м.н.,  
тел. (499) 196-94-39,  
e-mail: s.korobtsev@hepti.kiae.ru

**Мазец Владислав Казимирович**,  
аспирант кафедры «Автомобили и  
металлообработывающее оборудование»  
Ижевского государственного  
технического университета,  
р.т. 8 (3412) 59-38-26, 8 912 768-03-26,  
e-mail: amo@istu.ru

**Малёнкина Ирина Фёдоровна**,  
начальник лаборатории прогнозирования  
использования и экономики  
газомоторного топлива Центра  
использования газа ООО «Газпром  
ВНИИГАЗ», к.т.н., тел.: +7 (495) 355-97-58,  
I\_Malenkina@vniigaz.gazprom.ru

**Маркиев Михаил Иванович**,  
ведущий конструктор-дизайнер  
ООО НТЦ «МЕТА»,  
тел. (8482) 53-15-41

**Московкин Виктор Владимирович**,  
д.т.н., профессор, главный научный  
сотрудник НАМИ, ведущий научный  
сотрудник НИИАТ, профессор МГУПИ,  
тел. 574-71-48, м.т. 8 910 425-53-08

**Музафаров Раис Салихович**,  
зав. кафедрой «Автомобили и  
металлообработывающее оборудование»  
Ижевского государственного  
технического университета,  
к.т.н., доцент, р.т. 8 (3412) 59-38-26,  
м.т. 8 912 768-78-00,  
e-mail: amo@istu.ru

**Муллакаев Эльмир Зульфатович**,  
начальник КБ интерьера ОАО «КАМАЗ»,  
р.т. 8 (8552) 55-07-16

**Овчинников Валерий Александрович**,  
к.т.н., генеральный директор  
ООО «Ладуга», (г. Одинцово),  
e-mail: laduga@laduga.com

**Умняшкин Владимир Алексеевич**,  
профессор кафедры «Автомобили и  
металлообработывающее оборудование»  
Ижевского государственного  
технического университета, д.т.н.,  
м.т. 8 912 757-97-79

**Уразаев Азат Хамзяевич**,  
инженер-конструктор КБ интерьера  
ОАО «КАМАЗ»,  
р.т. 8 (8552) 55-07-16

**Филькин Николай Михайлович**,  
д.т.н., профессор кафедры  
«Автомобили  
и металлообработывающее  
оборудование» Ижевского  
государственного технического  
университета,  
адрес: 426069, г.Ижевск,  
ул. Студенческая, 7,  
р.т. 8 (3412) 59-38-26,  
м.т. 8 912 448-17-01,  
e-mail: fnm@istu.ru

**Фомин Валерий Михайлович**,  
профессор Российского университета  
дружбы народов (РУДН), д.т.н.,  
р.т. (495) 434-02-12,  
м.т. 8 915 211-44-15

**Чабак Александр Фёдорович**,  
ведущий научный сотрудник НИЦ  
«Курчатовский институт»,  
президент ЗАО «Академия  
перспективных технологий», к.т.н.,  
e-mail: achabak@mail.ru

**Шарапова Ирина Константиновна**,  
студентка 4-го курса Московского  
автомобильно-дорожного  
государственного технического  
университета (МАДИ) факультета  
«Автомобильный транспорт»,  
м.т. 910 404-61-03

**Шкель Андрей Сергеевич**,  
к.т.н., преподаватель Московского  
государственного университета  
приборостроения и информатики,  
тел. (926) 018-38-44,  
e-mail: shkel-as@yandex.ru

**Яновский Леонид Самойлович**,  
профессор, начальник отдела ФГУП  
«ЦИАМ», д.т.н.,  
тел.: (495) 362-00-23

## Contributors to journal issue No. 5 (29) 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

**Atrash Rami** (Lebanon),  
postgraduate of Peoples' Friendship  
University of Russia,  
+ 7 926-267-5388;  
e-mail: rami\_alatrach@hotmail.com

**Chabak Alexander F.,**  
leading scientific researcher of National  
Research Centre «Kurchatov Institute»,  
the President of «Academy of Advanced  
Technologies» venture, Ph.D.,  
e-mail: achabak@mail.ru

**Delgadilyo A.R.,**  
Bolivia, the student of the Russian  
state university of oil and gas named after  
I.M. Gubkin

**Fil'kin Nikolay M.,**  
PhD, Engng, professor Izhevsky state  
technical university,  
phone: + 7 912-448-17-01,  
fax 8-3412-59-38-26,  
e-mail: fnm@istu.ru

**Fomin Valery M.,**  
Dr. Sci. Tech., Professor of Peoples'  
Friendship University of Russia (PFUR),  
office phone: + 7 (495) 369-90-48,  
m.t.: + 7 915 211-44-15

**Gayduk Andrey Yu.,**  
director of STC «META»,  
phone: + 7 (8482) 53-15-41,  
e-mail: ay.gayduk@mail.ru

**Grigorovich Dmitry,**  
leading research associate  
«All-Russian Scientific Research  
Institute of Railway Transport»,  
Doctor of Science,  
phone: + 7 (495) 602-84-36,  
+ 7 926 186-32-18

**Gurov Michail N.,**  
manager of laboratory,  
Moscow state university  
instrumentation and informatics,

ph.: + 7 (926)-764-94-89,  
email: gurov-mn@yandex.ru

**Konoplev Vladimir N.,**  
PhD. Tekhn. Sciences, professor of  
«Automobiles and Engines» MSIU,  
phone: + 7 (495) 675-6242,  
e-mail: konopl-v@mail.ru

**Korobtsev Sergey V.,**  
Director of Hydrogen Energy and Plasma  
Technology Institute of the National  
Research Center «Kurchatov Institute»,  
Ph.D.,  
phone: +7 499 196 9439,  
e-mail: s.korobtsev@hepti.kiae.ru

**Malenkina Irina F.,**  
Head of the laboratory of forecasting gas  
motor fuel use and economics, Gazprom  
VNIIGAZ, cand. sc.,  
office phone: + 7 (495) 355-97-58,  
mobile phone: + 7 916 593-94-78,  
e-mail: I\_Malenkina@vniigaz.gazprom.ru

**Markiyev Michail I.,**  
leading designer STC «META»,  
phone: + 7 (8482) 53-15-41

**Mazets Vladislav K.,**  
The post-graduate student of the  
Department «Automotive and metalworking  
equipment» of Izhevsky state technical  
university,  
phone: +7 (3412)-59-38-26,  
+7 912-768-03-26 – сот.,  
e-mail: amo@istu.ru

**Moskovkin Viktor V.,**  
phD, prof., the main research assistant  
NAMI, the leading research assistant NIIAT,  
prof. MGUPI,  
phone: + 7 (495) 574-71-48,  
+ 7 910-425-53-08

**Mullakayev Elmyr Z.,**  
head of Interior design office of «KAMAZ »,  
phone: + 7 (8552) 55-07-16

**Muzafarov Rais S.,**  
Head of Department «Automotive and  
metalworking equipment» of Izhevsky state  
technical university, Candidate of technical  
sciences, Associate Professor (docent),

phone: + 7 (3412)-59-38-26,  
+7 912-768-78-00,  
e-mail: amo@istu.ru

**Ovchinnikov Valery A.,**  
candidate of science,  
General director, OOO «LADUGA»,  
Odintsovo, e-mail: laduga@laduga.com

**Sharapova Irina K.,**  
4th year student  
of the Moscow State automobile  
and road Technical University (MADI)  
faculty of motor transport,  
phone: + 7 910-404-61-03

**Shkel Andrey S.,**  
c.t.s., teacher, Moscow state university  
instrumentation and informatics,  
ph.: (926)-018-38-44  
email: shkel-as@yandex.ru

**Umnyashkin Vladimir A.,**  
PhD. Tekhn. Sciences,  
professor of the Chair  
«Cars and metal working  
equipment» of Izhevsky state  
technical university,  
phone: +7 912-757-97-79

**Urazaev Azat H.,**  
facility design engineer  
of Interior design office of «KAMAZ »,  
phone: + 7 (8552) 55-07-16

**Yanovskiy Leonid S.,**  
professor, head of the Federal State Unitary  
Enterprise «CIAM»,  
PhD. Tekhn. Sciences,  
phone: + 7 (495) 362-00-23

**Zajtsev Vjacheslav,**  
General Director of «Interaviagaz»,  
phone: + 7 (903) 700-61-21

**Zaruchevsky Andrey V.,**  
Candidates of Technical Sciences,  
JSC «All-Russian Scientific Research  
Institute of Railway Transport»,  
phone: + 7 (499) 260-42-02

**Zhevago Nykolay K.,**  
senior scientific researcher  
of National Research Center  
«Kurchatov Institute»,  
Dr. of Physics and Mathematics,  
e-mail: nickzhev@me.com



# Подписка – 2013

## Международный научно-технический журнал «Транспорт на альтернативном топливе»

Россия, 115304, Москва, ул. Луганская, д. 11.  
Тел.: 321-50-44, 321-6281, e-mail: transport.1@ngvrus.ru, transport.2@ngvrus.ru • www.ngvrus.ru

**Уважаемые читатели!**  
**Продолжается подписка на 2013 г.**

| Подписчики                | Годовая,<br>6 номеров           | I полугодие,<br>3 номера        |
|---------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| Россия                    | 3630 руб.<br>(включая 10 % НДС) | 1815 руб.<br>(включая 10 % НДС) |
| Страны СНГ                | 3630 руб.<br>(включая 10 % НДС) | 1815 руб.<br>(включая 10 % НДС) |
| Страны дальнего зарубежья | 190 евро / 250 долл.            | 120 евро / 170 долл.            |

Отдельные экземпляры журнала (550 руб. + 10% НДС = 605 руб.) можно приобрести в редакции.

Электронная версия журнала за 2011 г. (формат PDF, 6 номеров):

- для РФ и стран СНГ – 1700 руб., включая НДС 18 %.
- для стран дальнего зарубежья – 100 евро / 140 долл. США.

Подписку на 2013 г. можно оформить по факсу, электронной почте или непосредственно в редакции; также через агентства «Роспечать» (подписной индекс **72149**), «Межрегиональное агентство подписки» (Каталог Российская пресса – Почта России, подписной индекс **12718**).

### Стоимость размещения рекламных полноцветных материалов в журнале:

| В текстовом блоке                 | В рублях            | В долларах США | В евро |
|-----------------------------------|---------------------|----------------|--------|
| 1 страница (210×290 мм)           | 20 тыс. + 18 % НДС  | 850            | 625    |
| ½ страницы (125×176 мм)           | 12 тыс. + 18 % НДС  | 500            | 350    |
| ¼ страницы (70×176 мм)            | 7 тыс. + 18 % НДС   | 290            | 200    |
| Презентация (1 стр.)              | 10 тыс. + 18 % НДС  | 300            | 170    |
| Юбилейный раздел (1 стр.)         | 1,5 тыс. + 18 % НДС | –              | –      |
| <b>На обложке</b>                 |                     |                |        |
| 1-я страница (150×210 мм)         | 20 тыс. + 18 % НДС  | 850            | 625    |
| 2-я или 3-я страницы (290×210 мм) | 25 тыс. + 18 % НДС  | 1350           | 1000   |
| 4-я страница (290×210 мм)         | 30 тыс. + 18 % НДС  | 1450           | 1100   |

### Технические требования к рекламным модулям:

Макет должен быть представлен в электронном виде: форматы eps, tiff, jpeg, pdf.

Требуемые разрешения: полноцветные и монохромные материалы не менее 300 dpi.